



RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG



CHILI®
Digital Radiology

Universität Heidelberg / Hochschule Heilbronn

Studiengang Medizinische Informatik

Bachelorarbeit

Konzeption und Entwicklung von Modulen
zur Verwaltung und Visualisierung von
DICOM RT Objekten im CHILI-PACS-System

Vorgelegt von: Sven Siekmann
geboren am: 12.03.1985 in Lemgo/Lippe
Abgabedatum: 9. September 2010

Referent: Prof. Dr. R. Bendl, Hochschule Heilbronn
Koreferent: Dr. U. Engelmann, CHILI GmbH

Zusammenfassung

Für die fortwährende Optimierung von Behandlungsstrategien im Bereich der Strahlentherapie ist es notwendig, Behandlungspläne strukturiert miteinander zu vergleichen. Um die vielfältigen Datenmengen, die sich im Rahmen großer und übergreifender Forschungsprojekte, wie etwa dem ULICE-Projekt [18] ergeben, suffizient auswerten zu können, ist ein leichter Zugriff für alle Projektteilnehmer erstrebenswert. Dieser kann beispielsweise durch den Einsatz einer Telemedizinakte, wie sie z.B. von der Firma CHILI GmbH angeboten wird, erfolgen. Die Telemedizinakte muss unbedingt in der Lage sein, das Datenformat, in dem Therapiepläne abgespeichert werden (DICOM RT), zu verarbeiten.

Daher wurde im ersten Schritt dieser Arbeit analysiert, welche Informationen im Rahmen eines DICOM RT Viewing Moduls im CHILI-PACS dargestellt werden können. Als zentrale Aufgabe wurde die Darstellung des Dosis-Volumen-Histogramms (DVH) ermittelt, für dessen Berechnung es Module für die Darstellung der segmentierten Strukturen (*RT Structure Set*) und die Dosisverteilung (*RT Dose*) geben muss. Außerdem soll es zu einem späteren Zeitpunkt leicht möglich sein, weitere Module für die Anzeige der übrigen DICOM RT Objekte zu integrieren. Nach der Spezifikation der geforderten Funktionalität wurde ein Konzept für deren Umsetzung erstellt und mit der Implementierung einer der Kernfunktionen begonnen. Durch diese Implementierung soll es anderen Programmierern erleichtert werden, das gewählte Konzept nachzuvollziehen und das DICOM RT Viewing Modul des CHILI-PACS entsprechend erweitern und anpassen zu können, bis letztendlich ein homogenes und vollständiges Gesamtsystem entsteht.

Durch die Umsetzung eines Moduls zur Darstellung von RT Structure Sets ist es jetzt möglich, sich die segmentierten Strukturen eines DICOM RT Datensatzes im CHILI-PACS anzeigen zu lassen. Es können gezielt einzelne Strukturen an- und abgewählt und deren Konturfarbe geändert werden. Die Darstellung der Konturen ist für die Axial-, die Coronal- und die Sagittalebene möglich. Eine Überprüfung der Funktionalität wurde mit den zur Verfügung stehenden DICOM RT Testdatensätzen durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	3
2.1 Das ULICE-Projekt	3
2.2 Der Planungsprozess in der Strahlentherapie	5
2.3 Der DICOM Standard	7
2.3.1 Information Object Definition (IOD)	9
2.3.2 Seitenzuordnung zwischen Bild und Patient	12
2.3.3 DICOM RT - Eine Erweiterung für die Strahlentherapie	12
2.3.3.1 RT Structure Set	14
2.4 Bibliotheken im DICOM(-RT) Umfeld	16
2.4.1 DCMTK und DCMRT	16
2.4.2 Verwendung in dieser Bachelorarbeit	16
2.5 Prinzip der Client-Server-Architektur	17
2.6 Vorstellung des CHILI/Web	18
2.6.1 CHILI/Web - Serverkomponente	18
2.6.2 CHILI/Web - Clientkomponente	19
2.6.2.1 Benutzeroberfläche des CHILI/Web	20
2.6.3 Vorstellung des MPR Viewer	21
2.7 Ermittlung der darzustellenden Konturen	23
2.7.1 Grundlagen der Koordinatentransformation	23
2.7.1.1 Geometrische Transformationen und homogene Koordinaten	24
2.7.2 Ermittlung und Berechnung der Koordinaten der darzustellenden Konturpunkte	26
3 Ergebnisse	30
3.1 Anforderungsanalyse	30
3.2 Integration ins CHILI/Web (Client)	31

3.3	RT Informationsfluss im CHILI/Web	34
3.3.1	MPRViewer	36
3.3.2	RTImageViewer	37
3.3.3	RTLoader	37
3.3.4	ImageFunctionServlet	38
3.3.5	RTViewerWrapper	38
3.4	Design und Implementierung der Serveranwendung	40
3.4.1	Klassendiagramm der Serveranwendung	40
3.4.2	Implementierung des Programms und Klassenbeschreibung	41
3.4.2.1	dicomrtviewer - Die Serveranwendung	41
3.4.2.2	RTStructureSetInterface	41
3.4.2.3	RTStructureSetIO	42
3.4.2.4	RTStructure	43
3.4.2.5	RTStructureROI	43
3.4.2.6	RTStructureContour	43
3.4.2.7	RTStructureContourItem	44
3.4.2.8	RTStructureObservation	44
3.4.2.9	RTStructureImage	44
3.4.3	Berechnung der Bildkoordinaten der darzustellenden Konturpunkte	45
4	Diskussion und Ausblick	47
Anhang		I
A	Pflichtenheft	I
B	Testfälle	XXIX
C	Literaturverzeichnis	XXXV

Abkürzungsverzeichnis

<i>ACR</i>	American College of Radiology
<i>ANSI</i>	American National Standards Institute
<i>bzw.</i>	beziehungsweise
<i>CNAO</i>	Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica
<i>CT</i>	Computertomographie
<i>DICOM</i>	Digital Imaging and Communications in Medicine
<i>DIN</i>	Deutsche Industrienorm
<i>DKFZ</i>	Deutsches Krebsforschungszentrum
<i>DVH</i>	Dosis-Volumen-Histogramm
<i>EPA</i>	Elektronische Patientenakte
<i>EU</i>	Europäische Union
<i>HIT</i>	Heidelberger Ionenstrahl Therapiezentrum
<i>HTTP</i>	Hypertext Transfer Protocol
<i>i.d.R.</i>	in der Regel
<i>IHE</i>	Integrating the Healthcare Enterprise
<i>IOD</i>	Information Object Definition
<i>KIS</i>	Krankenhausinformationssystem
<i>MIP</i>	Maximum Intensity Projections
<i>MPR</i>	Multiplanare Rekonstruktion
<i>MRT</i>	Magnetresonanztomographie
<i>NEMA</i>	National Electrical Manufacturers Association
<i>OSI</i>	Open Systems Interconnection Reference Model
<i>PACS</i>	Picture Archiving and Communication System
<i>PET</i>	Positronenemissionstomographie
<i>RIS</i>	Radiologieinformationssystem
<i>ROI</i>	Region of Interest
<i>RT</i>	Radio Therapy
<i>s.</i>	siehe
<i>SOP</i>	Service Object Pair
<i>u.a.</i>	unter anderem

<i>u.U.</i>	unter Umständen
<i>UID</i>	Unified Identifier
<i>ULICE</i>	Union of Light Ion Centres in Europe
<i>US</i>	Ultraschall
<i>vgl.</i>	vergleiche
<i>z.B.</i>	zum Beispiel
<i>z.Z.</i>	zur Zeit

Abbildungsverzeichnis

2.1	Strahlentherapieketten	5
2.2	Virtuelles Patientenmodell	6
2.3	DICOM Model of the Real World	8
2.4	Verzahnung der Structure Set Module zur Definition einer ROI	15
2.5	Interaktion einer Client-Server-Architektur [14]	18
2.6	Aufteilung der Benutzeroberfläche des CHILI/Web-Client	20
2.7	MPR Viewer Modul Aufteilung im CHILI/Web	22
2.8	Ansicht MPR Viewing Modul im CHILI/Web	23
2.9	Koordinatensysteme und ihre Übergänge	24
2.10	Inverse Koordinatentransformation	28
2.11	Schnittpunktbestimmung mit der Ebene	29
3.1	Benutzeroberfläche CHILI/Web mit RT-Integration	32
3.2	Farbänderung einer Struktur	33
3.3	Klassendiagramm der RT Klassen im CHILI/Web	35
3.4	Aufteilung Arbeitsbereich RT Viewing Modul	36
3.5	Vereinfachtes UML-Klassendiagramm der Serveranwendung zur Verwaltung von DICOM RT Dateien	40
3.6	Verschiebung des Koordinatenursprungs in den einzelnen Ansichten	45

Tabellenverzeichnis

2.1	Objektdefinition für das DICOM Structure Set Objekt	9
2.2	Ausschnitt der Attributbeschreibung des Structure Set Objektes aus dem DICOM Standard	11

1 Einleitung

Motivation

Krebs stellt in den westlichen Industrieländern nach den kardiovaskulären Erkrankungen die zweithäufigste Todesursache dar [27]. Im Rahmen von Kombinationstherapien bei der Tumorthherapie erhalten mehr als 50% der Patienten eine Strahlentherapie [2]. Daher handelt es sich bei dieser Therapieform um eine wichtige Behandlungsmethode für Krebserkrankungen. Trotz intensiver Forschung und entscheidenden Fortschritten im Bereich der Strahlentherapie schlägt diese nicht bei allen Patienten an. Das Ziel der aktuellen Forschung ist, die Zahl der Rezidive weiter zu reduzieren.

Hierzu ist ein Vergleich verschiedener Patienten und ihrer jeweiligen Behandlung notwendig. Schwerionentherapie als besondere Form externer Strahlentherapie verwendet im Unterschied zur üblichen Strahlentherapie geladene Teilchen statt Photonen. In diesem Zusammenhang wurde das EU-Forschungsprojekt ULICE [18] ins Leben gerufen. Bei ULICE geht es unter anderem um die EU-weite Erfassung und Dokumentation von Behandlungsdaten in der Schwerionentherapie, mit der man besonders bei strahlenresistenten Tumorformen größere Heilungschancen als bei anderen Therapiearten erreicht hat. Dieses Arbeitspaket wird durch die Heidelberger Teilnehmer des Projektes, die Klinik für Radioonkologie und Strahlentherapie des Universitätsklinikums Heidelberg zusammen mit dem Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum (HIT), umgesetzt.

Grundlage für die Strahlentherapie ist die Therapieplanung. Hierbei werden zunächst zuvor akquirierte CT-Bilddaten in ein Planungssystem geladen, in dem dann über mehrere Schritte iterativ für einen Patienten ein möglichst optimaler Bestrahlungsplan erzeugt wird. Mittlerweile hat sich für die Speicherung von solchen Therapieplänen das Datenformat DICOM RT etabliert, das einen Austausch zwischen unterschiedlichen Planungssystemen und Geräten ermöglicht. Im DICOM RT Format werden unter anderem relevante Strukturen (Risikoorgane und Zielvolumina), die Dosisverteilung, sowie die eigentlichen Geräteeinstellungen für die Bestrahlung (Behandlungsplan) gespeichert. Die ursprünglich akquirierten CT- bzw. MRT-Bilder können anschließend beispielsweise mit zuvor segmentierten Strukturen, die im DICOM RT Format abgelegt worden sind, überlagert werden.

Um an die Daten der DICOM RT Dateien zu gelangen ist, es notwendig, Zugriff auf einen Rechner zu haben, auf dem eine Anwendung zur Verarbeitung solcher Therapiepläne

installiert ist. Da diese in den meisten Gesundheitseinrichtungen wegen der damit verbundenen Lizenzkosten nur in beschränkter Anzahl vorhanden sind, wächst der Wunsch nach einem webbasierten Zugriff auf Informationen in den Bestrahlungsplänen (z.B. in einer Telemedizinakte). Dadurch können behandelnde Ärzte diese Daten direkt an ihrem Arbeitsplatz einsehen und müssen nicht erst den Arbeitsplatz wechseln.

Für das zuvor genannte Arbeitspaket soll unter anderem die CHILI/Telemedizinakte und das CHILI/WEB eingesetzt werden. Das von der Firma CHILI GmbH angebotene CHILI/WEB ist eine Komponente zur Darstellung von medizinischen Bildern. Auf diese kann über die CHILI/Telemedizinakte durch Aufruf über einen Webbrowser direkt zugegriffen werden. Bisher bietet das CHILI/WEB nur die Möglichkeit zur Darstellung von Bilddaten ohne DICOM RT-Objekte.

Beitrag dieser Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist zunächst, eine Analyse der Informationen durchzuführen, die künftig im Rahmen eines DICOM RT Viewing Moduls im CHILI-PACS zur Verfügung gestellt werden sollen. Nach der Analyse folgt eine Spezifikation der gewünschten Funktionalität in einem Pflichtenheft (s. Anhang A) und die Definition eines Konzeptes zur Umsetzung. Eine Erweiterung des CHILI/Web um die Darstellung von DICOM RT Objekten (s. Kapitel 2.3.3) wird dafür sorgen, dass Bestrahlungsinformationen leicht überall abrufbar sind.

Als ein wichtiges Werkzeug für die Bewertung von Therapieplänen hat sich das Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) etabliert. Für dessen Berechnung ist die Kenntnis über die vorhandenen Strukturen und die Dosisverteilung notwendig. Diese Informationen erhält man aus den RT Structure Sets und aus der Komponente RT Dose.

In dieser Arbeit wurde die Umsetzung einer der Kernfunktionen gestartet und ein Modul zur Verwaltung und Visualisierung von RT Structure Sets konzipiert und implementiert.

2 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die verwendeten Materialien und Methoden vorgestellt. Zunächst wird das ULICE-Projekt und der grundlegende Ablauf einer Strahlentherapie kurz beschrieben, um den Rahmen, in dem diese Arbeit entstanden ist, besser verstehen zu können. Danach wird ein Einblick in den DICOM-Standard und die DICOM RT Erweiterung gegeben, um darzulegen, welche Dinge mit diesem Standard realisiert werden können. Weiterhin wird in diesem Kapitel dargestellt, welche Bibliotheken es im DICOM RT Umfeld gibt. Außerdem erfolgt eine Erläuterung zur Client-Server-Architektur und deren prinzipiellen Arbeitsweise, um die Art der Kommunikation des CHILI-PACS zu erläutern. Daraufhin wird eine Einführung in die Koordinatentransformation gegeben, da diese bei der Rotation der Ansichtsebenen der Bilddatensätze eine bedeutende Rolle spielt.

2.1 Das ULICE-Projekt

Bei ULICE handelt es sich um ein vierjähriges Projekt, an dem 20 führende europäische Forschungsinstitutionen, darunter als Industriepartner Siemens und IBA, beteiligt sind. Hiermit soll der Bedarf an Schwerionentherapie erforscht werden. Geleitet wird das Projekt von der italienischen Forschungseinrichtung CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) in Mailand.

Durch die folgenden drei Säulen sollen Informationen gewonnen werden, die dann von Forschungseinrichtungen und Industriepartnern ausgewertet werden:

- Entwicklung von Instrumenten und Protokollen in der Schwerionentherapie - z.B. die Verbesserung der 4-dimensionalen Partikelbestrahlung, ein Mechanismus zur Patientenauswahl in der EU und Datenbankentwicklung für spezifische Tumore, die sich am besten per Schwerionen behandeln lassen
- Vernetzung - Erhöhung der Kooperation zwischen den Einrichtungen und Forschungsgemeinschaften, die zusammenarbeiten wollen. Das Ergebnis soll eine Bericht mit Empfehlungen sein, wie zukünftige Studienzentren in Europa strategisch optimal positioniert werden
- Transnationaler Zugriff - 2-stufiger Ansatz, der es Forschern erlaubt, ihre Patienten in entfernte Einrichtungen zu schicken, um radiobiologische und physikalische

Experimente vornehmen zu können (Kombination von vordefinierten klinischen Programmen (in ULICE definiert)) [18]

Der letzte Punkt soll durch die Radioonkologie des Universitätsklinikums Heidelberg zusammen mit dem Heidelberger Ionenstrahl Therapiezentrum (HIT) erarbeitet werden. Bei diesem Arbeitspaket geht es unter anderem um die Entwicklung einer webbasierten Plattform zur EU-weiten Erfassung und Dokumentation von Behandlungsdaten in der Schwerionentherapie. Geplant ist, alle Behandlungen von Schwerionenpatienten zu dokumentieren. Konkrete Ziele sind:

- Einrichtung einer allgemeinen Datenbank für die Schwerionentherapie
- Webbasierter Zugriff zur Behandlung und Überweisung von Patienten
- Entwicklung eines einweiser- und studienzentrenübergreifenden Workflows zum Zugriff auf die Patientendaten
- Entwicklung und Koordination von multizentrischen, klinischen Studien in den Studienzentralen
- Einrichtung eines europaweiten wissenschaftlichen Review- und Konsens-Komitees

2.2 Der Planungsprozess in der Strahlentherapie

Im Folgenden soll die Strahlentherapie genauer beleuchtet werden, um eine Vorstellung davon zu bekommen, welche relevanten Informationen es gibt und welche davon in einen Therapieplan einfließen. Den Planungsprozess in der Strahlentherapie kann gut anhand der sogenannten Strahlentherapiekette (Abbildung 2.1) veranschaulicht werden [20]. Die für diese Arbeit relevanten Kettenglieder sind die Therapieplanung und ihre Dokumentation in einem Therapieplan.

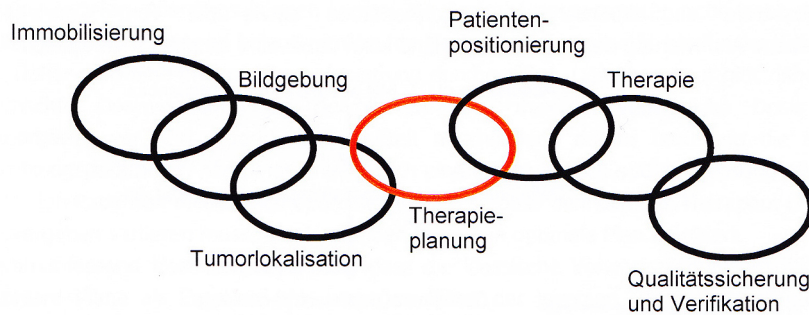


Abb. 2.1: Strahlentherapiekette: Prozesse, die bei der Therapieplanung in einander übergehen [22]

Bei der *Immobilisierung* versucht man sicher zu stellen, dass der Patient während der Bestrahlung genauso wie bei der Bildakquisition auf der Patientenliege positioniert wird. Vorrangig ist die Vermeidung einer fehlerhaften Positionierung, da dies zur Folge hätte, dass definierte Zielvolumina nicht entsprechend der Planung vom Therapiestrahle erfasst würden, aber statt dessen andere Strukturen geschädigt werden könnten.

Die *Bildgebung* stellt die Grundlage der Diagnostik und Therapieplanung dar, bei der immer ein Planungs-CT erstellt wird. Sie kann je nach Anforderung noch um weitere Verfahren wie Magnetresonanztomographie (MRT) oder Positronenemissionstomographie (PET) ergänzt werden.

Unter *Tumorlokalisation* versteht man das automatische oder manuelle Segmentieren der sichtbaren und nicht-sichtbaren Tumorgebiete in das Planungs-CT. Des Weiteren werden in diesem Schritt auch die angrenzenden Risikoorgane eingezeichnet. Hierdurch ergibt sich in der Gesamtheit ein virtuelles Patientenmodell (Abbildung 2.2), das dann die Grundlage für die sich hieran anschließende Therapieplanung ist.



Abb. 2.2: Virtuelles Patientenmodell mit segmentierten Augen (lila), Sehnerven (türkis), Hirnstamm (grün) und Tumorgewebe (rot) [2]

Erst bei der *Therapieplanung* werden die eigentlichen Bestrahlungsparameter durch den Strahlentherapeuten festgelegt. Dabei handelt es sich um Parameter wie z.B. Form, Intensität und Richtung der einzelnen Strahlenfelder. Es ist auf eine geeignete Überlagerung der Strahlen innerhalb des Zielvolumens hinzuwirken, um die gewünschte Dosis in diesem zu konzentrieren. Gleichzeitig dürfen die angrenzenden Risikoorgane nur mit einer geringen Dosis belastet werden. Mit Hilfe des zuvor erstellten virtuellen Patientenmodells (Abbildung 2.2) kann der Plan mit einem Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) quantitativ beurteilt werden.

Die *Patientenpositionierung* muss vor der eigentlichen Therapie vorgenommen werden. Wie bereits oben angemerkt ist darauf zu achten, dass der Patient identisch gelagert ist wie bei der Akquisition des Planungs-CTs. Dies erfordert teilweise sehr aufwändige Fixierungstechniken (Kopfmasken, Vakuummatratze etc.).

Die *Therapie* wird meist in mehreren Fraktionen durchgeführt, um die biologische Wirksamkeit der Therapie zu erhöhen. Dies beruht darauf, dass gesunde Körperzellen typischerweise über bessere Reparaturmechanismen verfügen als entartete Tumorzellen. Deshalb können sich die Körperzellen zwischen den Fraktionen regenerieren, wohingegen die entarteten Tumorzellen durch die Bestrahlung irreparabel geschädigt werden und so schrittweise zu Grunde gehen.

In jedem der bisher vorgestellten Schritte kann es zu Fehlern und Ungenauigkeiten kommen, die Fehlbehandlungen oder Schädigungen des Patienten zur Folge haben. Daher ist eine umfangreiche *Qualitätssicherung* unumgänglich, um Fehlerquellen für künftige Behandlungen zu vermeiden. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei eine umfassende und übersichtliche Dokumentation und die gesetzlich vorgeschriebene Archivierung der Bestrahlungspläne [22].

2.3 Der DICOM Standard

DICOM steht für *Digital Imaging and Communications in Medicine* und ist ein offener Standard, der 1993 zum Austausch von Informationen in der Medizin vorgestellt wurde. Er spezifiziert, wie Bilddaten und Informationen (z.B. Segmentierungen oder Bestrahlungsinformationen) in objektorientierter Form zur Verfügung gestellt und ausgetauscht werden können. Mittlerweile reicht das Einsatzgebiet von DICOM von der Darstellung der Bilddaten verschiedenster medizinischer Geräte über eine große Anzahl von Diensten bis zur Unterstützung des medizinischen Workflows (z.B. Verwaltung und Archivierung von Dokumenten, PACS- Ansteuerung).

Der DICOM Standard stellt ein aus mehreren Teilen bestehendes Dokument dar, das aktuell 18 Teile umfasst (Stand: Juli 2010). Der Vorteil ist, dass einzelne Teile unabhängig voneinander weiter entwickelt werden können, ohne die Gesamtstruktur zu beeinflussen. Um mit den fortwährenden Entwicklungen im Medizin-, Hardware- und Softwarebereich mitzuhalten, wird der DICOM-Standard heute von 26 Working Groups (Stand: Juni 2010) kontinuierlich um verschiedene Teilbereiche (z.B. Biosignale, Datensicherheit, ...) erweitert. Die in dieser Arbeit verwendete Erweiterung um Strahlentherapieobjekte soll in Kapitel 2.3.3 genauer vorgestellt werden. Die aktuellen Spezifikationen werden von der ACR-NEMA (American College of Radiology, National Electrical Manufacturers Association) veröffentlicht [12].

Das *DICOM model of the Real World* stellt ein Grundgerüst für die Beziehungen unter den einzelnen Informationsobjekten dar, die im Standard definiert sind. Die Abbildung 2.3 auf der nächsten Seite illustriert die Entitäten, auf denen die meisten DICOM Objekte beruhen, in ihrer hierarchischen Struktur. Die hier erkennbare Hierarchie wird sehr häufig in DICOM-Anwendungen verwendet: Zu einem Patienten kann es mehrere Krankenhausaufenthalte (*Study*) geben. Eine Studie hat eine oder mehrere Serien, die jeweils modalitätsspezifisch sind und mehrere Bilder enthalten können. Der *Frame of Reference* definiert das Koordinatensystem für eine oder mehrere Serien. Das bedeutet, dass alle Bilder einer Serie im gleichen Koordinatensystem liegen, wenn sie auf den gleichen *Frame of Reference* verweisen.

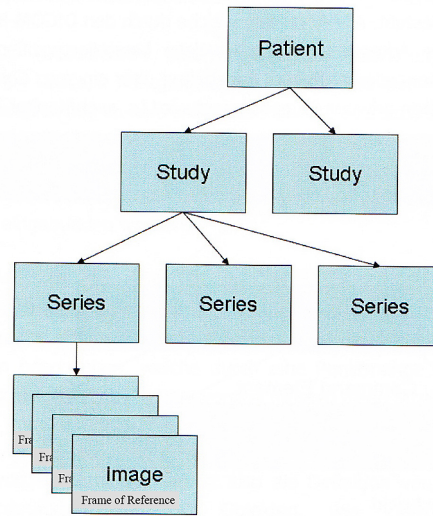


Abb. 2.3: DICOM Model of the Real World: Darstellung für die Beziehung der am häufigsten verwendeten Informationsobjekte untereinander [22]

Wie bereits erläutert, definiert DICOM Objekte mit speziellen Eigenschaften (*Characteristics*) und Operationen (*Service Class*), die auf diese angewendet werden, durch die sogenannten *Information Object Definition (IOD)*. Da die Definition der Informationsobjekte ein zentraler Bestandteil von DICOM ist, wird dies in Kapitel 2.3.1 noch ausführlicher dargestellt. Die Verbindung von Informationsobjekten mit ihren Services erfolgt durch das *Service Object Pair (SOP)*. Jede *SOP Class* und jede *SOP Instance*, das ein individuelles Objekt hiervon darstellt, erhält einen eindeutigen *Unique Identifier (UID)*. Dabei werden die Klassen UUIDs von der National Electrical Manufacturers Association (NEMA), ein Mitbegründer des DICOM Standard Committees, festgelegt. Die *InstanceUIDs* müssen weltweit eindeutig sein. Dies hat zur Folge, dass sich Geräte- und Softwarehersteller mit einer Root-Nummer bei einer Registrierungsagentur (z.B. ANSI, DIN CERT) registrieren lassen müssen. Danach können sie dann diese Root-Nummer für ihre Geräte bzw. Instanzen entsprechend erweitern und so eindeutige UUIDs generieren.

Eine DICOM Datei gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil werden alle zum Bild benötigten Attribute beschrieben. Im zweiten Teil wird das Bild selbst entweder unkomprimiert oder komprimiert abgelegt. Unter *Attributen* versteht man eine Liste von Datenelementen. Der Standard erlaubt auch die Definition von eigenen herstellerspezifischen Objekten, Modulen oder Attributen. Dies hat jedoch zur Folge, dass die darin gespeicherten Informationen nicht mehr kompatibel zu Implementierungen anderer Hersteller sind, wenn die Interpretation dieser *private tags* (s. Kapitel 2.3.1) nicht offengelegt wird. Diese Offenlegung kann beispielsweise in einem *DICOM Conformance Statement*

erfolgen. Diese Übereinstimmungserklärung muss für jedes DICOM-konforme Gerät exakt beschreiben, welche Fähigkeiten dieses besitzt.

2.3.1 Information Object Definition (IOD)

Alle Objekte in DICOM werden durch eine *Information Object Definition (IOD)* festgelegt. Diese sind im dritten Teil des Standards [12] definiert und werden in einzelne Module untergliedert. Die Module werden genutzt, um die einzelnen Attribute in den *Information Objects* zu gruppieren. Da die Module von verschiedenen Objekttypen verwendet werden, ist für jeden Objekttyp festgelegt, ob er erforderlich (*mandatory (M)*), unter bestimmten Bedingungen erforderlich (*conditional required (C)*) oder benutzerabhängig (*user optional (U)*) ist. In Tabelle 2.1 wird ein Beispiel für eine Objektdefinition im DICOM Standard gegeben.

IE	Module	Reference	Usage
Patient	Patient	C.7.1.1	M
	Clinical Trial Subject	C.7.1.3	U
Study	General Study	C.7.2.1	M
	Patient Study	C.7.2.2	U
	Clinical Trial Study	C.7.2.3	U
	RT Series	C.8.8.1	M
Series	Clinical Trial Series	C.7.3.2	U
	General Equipment	C.7.5.1	M
Equipment	Structure Set	C.8.8.5	M
Structure Set	ROI Contour	C.8.8.6	M
	RT Observations	C.8.8.8	M
	Approval	C.8.8.16	U
	SOP Common	C.12.1	M

Tab. 2.1: Objektdefinition für das DICOM Structure Set Objekt [12]

In den einzelnen Modulen werden die zugehörigen *Attribute* beschrieben. Ein Attribut wird eindeutig durch 2 vierstellige Hexadezimalzahlen (*Tag*) benannt.

Die erste Hexadezimalzahl gibt die Zugehörigkeit zu einer Gruppe an, die zweite bestimmt das Element. Es gibt die folgenden drei Attributtypen: *1* (erforderlich), *2* (erforderlich, kann aber leer sein) und *3* (optional). Folgt einer Zahl ein ergänzendes 'c', heißt dies, dass das Attribut unter bestimmten Bedingungen definiert sein muss. Die genauen Bedingungen werden in der jeweiligen *Attribute Description* genannt. Die Gruppenzahl von DICOM-Standard-Attribute ist gerade. Eine ungerade Gruppennummer signalisiert

ein privates Datenelement, das nicht durch den Standard festgelegt ist. Hierdurch ergibt sich die Option, dass Hersteller bzw. Anwender diese Elemente für eigene Zwecke nutzen können. Außerdem werden Attribute noch durch ihre *Value Representation (VR)*, die den Datentyp des Elementes beschreibt, und ihre *Multiplizität* charakterisiert, die für jedes Element im fünften Teil des Standards [12] zu finden sind.

Bei Attributen ist wichtig zu wissen, dass manche Attribute in verschiedenen Modulen auftauchen und daher deren Beschreibung und Typdefinition modulspezifisch sind. Des Weiteren gilt, dass die Attributbeschreibungen und Typdefinitionen in spezialisierteren Modulen immer die Einträge in allgemeineren überschreiben. Die Datenelemente werden in aufsteigender Sortierreihenfolgen (nach ihren Tags) im DICOM-Header gespeichert. Dabei können sich manche Elemente in sogenannten *Sequences* wiederholen. Diese kann man sich als Konstrukte vorstellen, die mehrere Attribute in einem Block zusammenfassen. Die Kennzeichnung als Sequenz erfolgt in den DICOM-Spezifikationen mit '>'. Tabelle 2.2 auf der nächsten Seite zeigt einen Ausschnitt aus der Attributbeschreibung für das DICOM Structure Set (s. Kapitel 2.3.3.1).

Attribute Name	Tag	Type	Attribute Description
Structure Set Label	(3006, 0002)	1	User-defined label for Structure Set
Structure Set Name	(3006, 0004)	3	User-defined name for Structure Set
Structure Set Description	(3006, 0006)	3	User-defined description for Structure Set
Instance Number	(0020, 0013)	3	A number that identifies this object instance
Structure Set Date	(3006, 0008)	2	date at which Structure Set was last modified
Structure Set Time	(3006, 0009)	2	Time at which Structure Set was last modified
Referenced Frame of Reference Sequence	(3006, 0010)	3	Introduces sequence of items describing Frame of Reference in which the ROIs are defined. One or more items may be included in this sequence. See C.8.8.5.1.
> Frame of Reference UID	(0020, 0052)	1	Uniquely identifies Frame of Reference within Structure Set.
> Frame of Reference Relationship Sequence	(3006, 00C0)	3	Introduces sequence of transformas that relate other Frame of Reference to this Frame of Reference. One or more items may be included in this sequence.
>> Related Frame of Reference UID	(3006, 00C2)	1	Frame of Reference Coordinate System to be transformed to the current Frame of Reference.
>> Frame of Reference Transfomation Type	(3006, 00C4)	1	Type of transformation. Defined Terms: HOMOGENOUS
>> Frame of Reference Transformation Matrix	(3006, 00C6)	1	Four-by-four transformation Matrix from Related Frame of Reference to current Frame of Reference. Matrix elements shall be listed in row-major order See C.8.8.5.2

Tab. 2.2: Ausschnitt der Attributbeschreibung des Structure Set Objektes aus dem DICOM Standard [12]

2.3.2 Seitenzuordnung zwischen Bild und Patient

Die Zuordnung der Seiten zwischen Bild und Patient erfolgt für Projektionsbilder über das *Patient Orientation* Attribut (0020, 0020¹) und für Schnittbilder über die Attribute *Image Position* (0020, 0032²) und *Image Orientation* (0020, 0037³). Die *Image Position* gibt dabei die x-, y- und z- Koordinaten des Pixelzentrums der linken oberen Ecke des Bildes in Millimetern an. Die *Image Orientation* gibt den Richtungskosinus der ersten Pixelreihe und der ersten Pixelspalte relativ zum Patienten an. Um Bilddaten mit bildergänzenden Metadaten (z.B. Segmentierungen) passend zu überlagern, bietet es sich an, alle Koordinaten in Patientenkoordinaten (in Millimetern) vorliegen zu haben. Dafür ist noch das Bildattribut *Pixel Spacing* (0028, 0030), welches den physikalischen Abstand zwischen den einzelnen Pixelzentren angibt, erforderlich.

Da Transformationen zwischen den einzelnen Koordinatensystemen für diese Bachelorarbeit relevant sind, erfolgt in Kapitel 2.7.1 eine ausführliche Darstellung.

2.3.3 DICOM RT - Eine Erweiterung für die Strahlentherapie

Bei den *DICOM Radio Therapy* Objekten handelt es sich um eine Erweiterung des DICOM Standards um Beschreibungselemente für die Strahlentherapie. Diese Erweiterung hat sich mittlerweile für die Dokumentation von Therapieplänen (s. Kapitel 2.2) etabliert. DICOM RT erweitert den Standard um RT Objekte und ihre zugehörigen SOP-Klassen. Erste Bemühungen, eine Standardisierung des Datenaustausches in der Strahlentherapie zu erreichen, gab es bereits 1982 von der American Association of Physics in Medicine (AAPM) mit ihrem Report No. 10 [1]. Auf den Empfehlungen aus diesem Report beruht der von der Radiotherapy Oncology Group (RTOG) entwickelte RTOG-Standard, der in der ersten Version noch im gleichen Jahr erschien und alle RT relevanten Informationen enthielt [13].

Da sich dieser Standard nicht über die nordamerikanischen Länder hinweg verbreitet hat, befasste sich die International Electrotechnical Commission (IEC) im Jahr 1987 damit, einen Standard für den Datenaustausch in der Strahlentherapie zu entwickeln. 1994 wurde dann die *RT-DICOM Ad-Hoc Working Group* gegründet. Sie hatte die Aufgabe, den bereits als Kommunikationsstandard akzeptierten DICOM Standard um die Anforderungen aus der Strahlentherapie zu erweitern. Die Erweiterung des bestehenden Standards hatte den Vorteil, dass Anwendungen leicht an die Erweiterung angepasst werden konnten und kein neuer, zusätzlicher Standard implementiert werden musste. Heute ist dieses Kollektiv eine reguläre Arbeitsgruppe (Working group 7) innerhalb des DICOM Committees und

¹Tag für das Patient Orientation Attribut

²Tag für das Image Position Attribut

³Tag für das Image Orientation Attribut

hat bisher die folgenden neun Objekte definiert, die im aktuellen Standard (Stand: Juli 2010) vertreten sind:

- RT Image
- RT Structure Set
- RT Dose
- RT Plan
- RT Beams Treatment Record
- RT Brachy Treatment Record
- RT Treatment Summary Record
- RT Ion Plan Record
- RT Ion Beams Treatment Record.

Da das Objekt *RT Structure Set* im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine tragende Rolle spielt, wird es in Kapitel 2.3.3.1 genauer vorgestellt. Der Vollständigkeit halber wird im Folgenden ein Überblick über die übrigen RT Objekte gegeben:

RT Dose Objekte dienen der Übertragung der durch die Bestrahlungsplanungssoftware ermittelten Dosisverteilung. Die Speicherung der Dosisverteilung kann entsprechend der folgenden beiden Wege vorgenommen werden.

Die erste Möglichkeit ist die Speicherung als 2D oder 3D Gitter. Hierbei werden, ähnlich wie bei einem normalen Bild, die Dosisdaten im *Pixel Data* Attribut abgelegt. Die einzelnen Pixel bilden dadurch für jede Schicht ein Gitter mit Dosisdaten aus. Die einzelnen Schichten übereinander gelegt bilden dann einen dreidimensionalen Dosiswürfel (3D Gitter). Üblicherweise werden die Dosisdaten in einem sogenannten Multiframe-Objekt abgelegt, was sie von normalen Schichtbilddaten unterscheidet. Die Speicherung als „Multiframe“ bedeutet, dass sich die Daten in einer einzigen Datei befinden und einzelne Schichten durch einen Frame-Offset angesprochen werden.

Die zweite Möglichkeit Dosisverteilungen zu speichern, ist, diese als Isodosiskurven und Punkte zu definieren. Dafür werden sie nach dem gleichen Konzept wie die *RT Structure Sets* Module (s. Kapitel 2.3.3.1) angegeben.

Diese beiden Möglichkeiten schließen einander nicht aus, sie können vielmehr nebeneinander in einem einzigen RT Dose Objekt vorhanden sein.

RT Plan Objekte enthalten alle Plandaten für die Strahlentherapie und sind daher für die Verwaltung eines Therapieplans von entscheidender Bedeutung. Der Unterschied zu anderen DICOM Objekten ist, dass dieses Objekt dynamische Komponenten besitzt. Dies bedeutet, dass die in ihm gespeicherten Informationen von verschiedenen Systemen

kommen und sich im Verlauf der Bestrahlungsplanung auch ändern können. Als wichtigste Elemente sind für dieses Objekt die Beschreibung der Behandlung und der verschriebenen Dosis bzw. Toleranzdosen, die Patientenlagerung und -positionierung, Toleranztabellen, Dosisinformationen und -fraktionierung und die Beschreibung der Bestrahlungstechnik zu nennen. Der RT Plan ist notwendig, um beispielsweise die in RT Dose hinterlegte Dosisverteilung richtig zu interpretieren.

Ein *RT Image* Objekt beschreibt i.d.R. 2D Bilddaten, die unter anderem Projektionsaufnahmen, digitale Röntgenrekonstruktionen (DRR), Röntgenbilder, Simulationsbilder und Fluoroskopiebilder enthalten. Das Modul setzt sich aus Teilen zusammen, die das Bild beschreiben (u.a. Beschränkungen des *General Image Module*): Informationen über das Aufnahmegerät (z.B. Name des Gerätes), referenzierter RT Plan, Aufnahmesequenz, also die Sequenz der Aufnahmeparameter, die für die Erzeugung des Bildes verwendet wurden, und optionale Informationen der Geräteeinstellungen wie z.B. Gantry-Winkel.

Die Objekte *RT Beams Treatment Record*, *RT Brachy Treatment Record* und *RT Treatment Summary Record* beinhalten Informationen zu den eigentlichen Bestrahlungsplänen, wie Fraktionierungsschema, Einstrahlrichtung der Therapiestrahlen, usw.

Für den Bereich der Therapie mit Schwerionen (Bestrahlung mit geladenen Teilchen anstatt mit Photonen) wurden die Objekte *RT Ion Plan Record* und *RT Ion Beams Treatment Record* eingeführt. Dies war notwendig, da es sich bei Schwerionen um eine vollkommen andere Strahlart handelt. Diese unterscheidet sich von den bisher verwendeten Photonen unter anderem in ihrer biologischen Wirkung, Dosiskonformität und vor allem auch den zu verwendenden Geräten (sehr große Beschleuniger und Gantryssysteme notwendig).

Da die Präsentation der Bestrahlungs- und Therapiepläne nicht Gegenstand dieser Bachelorarbeit sind, wird auf eine ausführlichere Beschreibung an dieser Stelle verzichtet. Details über diese RT Objekte sind dem DICOM Standard [12] zu entnehmen.

2.3.3.1 RT Structure Set

RT Structure Set Objekte sind dazu gedacht, Informationen der segmentierten Patientenstrukturen zu halten. Im Modul *Structure Set* werden Bereiche von Interesse (*Region of Interest* = ROI) festgelegt. Daher sind neben allgemeinen Informationen, wie Name und Beschreibung des Structure Sets, auch Informationen über die referenzierten Bilder, Serien und Studien gespeichert. Es können hier auch Koordinatentransformationen spezifiziert werden, falls einzelne referenzierte Bilder nicht in dem selben Koordinatensystem (abweichendes *Frame of Reference*) wie das Structure Set liegen. Für die einzelnen Referenzbereiche muss hier eine eindeutige ROI Nummer innerhalb des Structure Sets angegeben werden, die durch das *ROI Contour Module* dann genauer beschrieben wird.

Eine ROI kann entweder durch eine Sequenz von Overlays oder durch eine Sequenz von Konturen angegeben werden. Bei einem Overlay handelt es sich um ein Bild, das die eingezeichneten Konturen als Bilddaten enthält. Mit solchen Overlays können die zugeordneten CT-Bilder überlagert und zu einem Bild „verschmolzen“ werden. Ist das *ROI Contour Module* vorhanden, werden die ROIs als Sequenz von Konturen definiert. Dazu wird für jede im Structure Set Modul definierte ROI angegeben, um welchen geometrischen Typ (POINT, OPEN_PLANAR, OPEN_NONPLANAR oder CLOSED_PLANAR) es sich handelt, auf welche Bilder sich die Konturdaten beziehen, wieviele Konturpunkte es für das jeweilige Bild gibt und die Koordinaten der Konturen.

Nun muss noch geklärt werden, um welche Art ROI es sich handelt - also wie die ROI zu interpretieren ist (Zielvolumen, Risikoorgan, Marker, etc). Dies geschieht durch das *RT ROI Observations* Modul. Für jede Observation wird eine eindeutige Nummer innerhalb des Structure Sets festgelegt und es wird angegeben auf welche ROI (Nummer) sich die Observation bezieht. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit den Namen der Person, die die Struktur definiert hat (Arzt oder Medizinphysiker), zu hinterlegen. Die Abbildung 2.4 veranschaulicht die Verzahnung der Module.

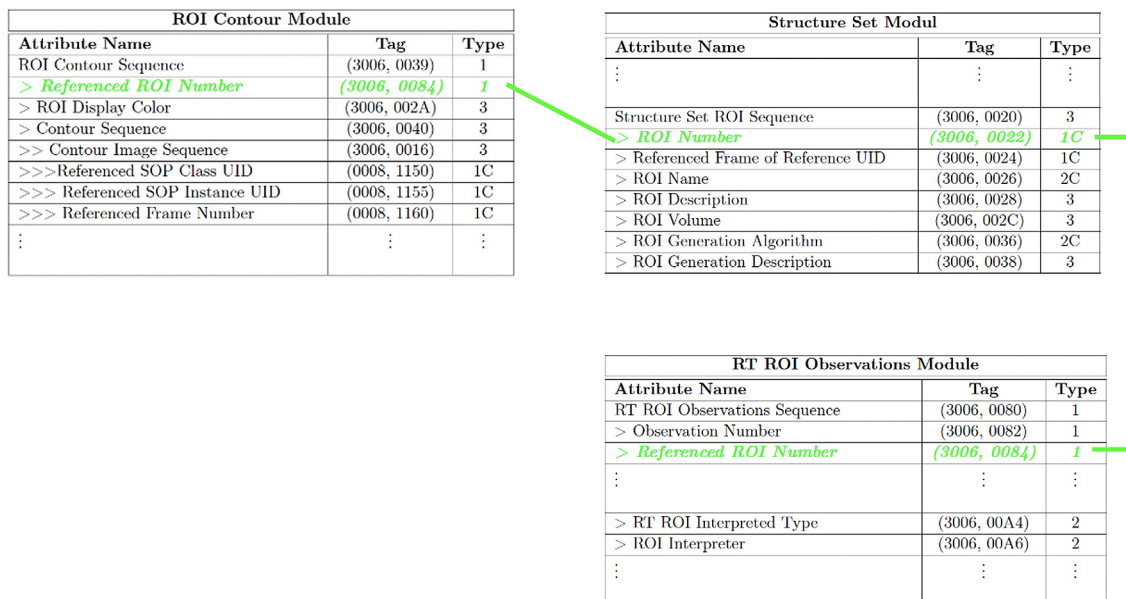


Abb. 2.4: Verzahnung der Structure Set Module zur Definition einer ROI

2.4 Bibliotheken im DICOM(-RT) Umfeld

Da die Verwendung bestehender Bibliotheken der Entwicklung eigener Zugriffsmethoden „from-scratch“ vorzuziehen ist, soll hier erläutert werden, welche Bibliotheken im DICOM(-RT) Umfeld existieren. Derzeit gibt es noch keine frei verfügbaren, umfangreichen Bibliotheken zum Laden, Verarbeiten und Speichern von DICOM-RT Objekten. Daher wurde im September 2008 ein Projekt vom Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatik (OFFIS) mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) gestartet [17].

2.4.1 DCMTK und DCMRT

Das DCMRT-Modul ist eine Erweiterung des OFFIS DICOM Toolkit (DCMTK). Hierbei handelt es sich um eine Sammlung von Bibliotheken und Anwendungen, die zusammen große Teile des DICOM-Standards implementieren. Unter anderem wird es hiermit möglich, DICOM-Bilddateien zu untersuchen. Das DCMTK ist in ANSI C und C++ geschrieben und wird als „Open-Source“-Software im Quelltext zur Verfügung gestellt. Die Bibliothek kann unter Windows, Mac OS X und diversen Linux/UNIX-Varianten genutzt werden. Dies ist auch mit der Grund, warum das Toolkit bereits für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt wird und zwar als Testwerkzeug und Baustein für Projekte oder auch kommerzielle Produkte.

Das DCMRT-Modul ist als frei verfügbare Open-Source-Bibliothek für den DICOM RT Bereich gedacht. Es unterstützt verschiedene DICOM RT IODs, wie RT Dose, RT Image, RT Plan und RT Structure Set. Die Unterstützung für Objekte der Ionentherapie (DICOM RT ion) ist noch nicht vorhanden. Die Bibliothek stellt Zugriffsmethoden für alle Elemente der entsprechenden Objekte bereit und führt eine automatische (DICOM-)Validierung beim Lesen und Schreiben von RT-Datensätzen durch [17, 16].

2.4.2 Verwendung in dieser Bachelorarbeit

Das DCMRT-Modul befindet sich derzeit in der Entwicklung. Bei der getesteten Vorabversion kam es zu Problemen beim Einlesen der Sequenzen von Structure Sets. Daher wird auf diese Bibliothek im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht zurückgegriffen.

Leider besteht keine Alternative, sodass ein Rückgriff auf ein bestehendes Framework momentan noch nicht erfolgen kann.

Da sich diese Bibliothek aber in der Entwicklung befindet, kann davon ausgegangen werden, dass sie in absehbarer Zeit den Zugriff und die Verwaltung von DICOM RT Objekten ermöglichen wird. Dann wäre die Nutzung dieser Bibliothek sicherlich empfehlenswert, da

Bibliotheken i.d.R. unabhängig vom Hauptprogramm verbessert und aktualisiert werden, so dass auch zukünftige Neuerungen im RT Umfeld einbezogen werden können.

In Kapitel 4 wird hierauf noch einmal eingegangen.

2.5 Prinzip der Client-Server-Architektur

Eine Client-Server-Architektur ermöglicht, Aufgaben und Dienstleistungen innerhalb eines Netzwerkes zu verteilen. Es handelt sich hierbei um ein sehr verbreitetes Konzept, um Aufgaben innerhalb eines Netzwerkes zu strukturieren [5].

Das Anwendungssystem wird dabei in mindestens zwei Subsysteme aufgeteilt, von denen mindestens eines über eine Schnittstelle verschiedene Dienste für andere Subsysteme bereitstellt. Dieses Subsystem, das auch als *Server* bezeichnet wird, verhält sich passiv und wartet auf Anfragen. Mindestens ein weiteres Subsystem muss die Dienste anfragen, die von einem Server bereitgestellt werden. Dieses weitere Subsystem wird als *Client* bezeichnet. Die Kommunikation zwischen Client und Server wird durch Protokolle geregelt. Im Protokoll werden die Definitionen von Aufruf, Format und Art der Daten festgelegt. Ausgangspunkt für die Kommunikation ist immer der Client, der Dienste aktiv anfragt. Der Server entscheidet dann eigenständig, ob der Client die nötigen Rechte besitzt und in welcher Reihenfolge die Anfragen bearbeitet werden [21].

Die Programme für Server und Client können entweder auf demselben oder verschiedenen Rechnern laufen. Häufig werden Server, die ähnliche Dienste anbieten, auch als Software zusammengefasst (z.B. Mail-Server, Anwendungsserver, Datenbankserver).

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht den typischen Ablauf der Client-Server-Kommunikation:

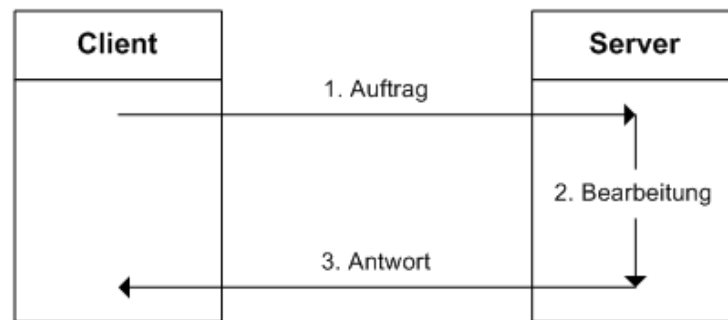


Abb. 2.5: Interaktion einer Client-Server-Architektur [14]

Zuerst erfolgt der Auftrag zur Bearbeitung durch einen Dienst vom Client an den Server. Der Auftrag wird im zweiten Schritt vom Server angenommen und entsprechend bearbeitet. Danach wird ggf. ein Ergebnis an den Client zurück übermittelt.

Man versucht, verteilte Anwendungen durch ein Schichtmodell zu unterteilen, um deren Aufgabentrennung besser beschreiben zu können. Allerdings gibt es noch kein standardisiertes Modell für verteilte Anwendungen. Daher unterteilen Modelle für verteilte Anwendungen die Ebene 7 des OSI-Modells [24] weiter. Eine mögliche Unterteilung liefert die Einführung der Ebenen *Präsentation*, *Steuerung*, *Anwendungslogik*, *Datenverwaltung* sowie *Datenhaltung* [14].

2.6 Vorstellung des CHILI/Web

Das CHILI/Web ist eine Software für die Bildverteilung und Teleradiologie auf Basis einer erweiterbaren PACS-Architektur [10, 4] von der CHILI GmbH. Die CHILI GmbH ist ein unabhängiges Unternehmen, das aus einer Ausgründung des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) im Jahre 2002 entstanden ist.

Das CHILI/Web ist IHE-konform (www.ihe.net) und lässt sich in den klinischen Arbeitsablauf integrieren[3]. Da diese Bachelorarbeit das CHILI/Web um neue Funktionen erweitert, sollen hier seine Komponenten vorgestellt werden.

2.6.1 CHILI/Web - Serverkomponente

Der CHILI/Web-Server basiert auf einer vollständigen PACS-Architektur [10, 4]. Er stellt eine DICOM-konforme Schnittstelle zum angebundenen PACS oder anderen bildgebenden Modalitäten zur Verfügung und speichert die empfangenen Bilder in einem relationalen Datenbanksystem.

Der CHILI/Web-Server stellt dem CHILI/Web-Client die PACS-Bilder zur Verfügung. Daneben werden serverseitig auch aufwendigere Berechnungen, wie z.B. multiplanare Rekonstruktionen (MPR, s. Kapitel 2.6.3), durchgeführt, um den Client zu entlasten. Die Kommunikation mit dem Client erfolgt über HTTP (Hypertext Transfer Protocol, [11]). Die Befehlsübermittlung vom Servlet (s. [26]) zu den Serveranwendungen geschieht über I/O-Komponenten, die sonst für Ein- und Ausgaben von der Konsole genutzt werden. Diese Komponenten werden umdefiniert und realisieren die Kommunikationskanäle in einer sogenannten Pipe [26].

2.6.2 CHILI/Web - Clientkomponente

Der CHILI/Web-Client (Abbildung 2.6 auf der nächsten Seite) beinhaltet die Komponenten, über die der Anwender über ein Netzwerk auf das PACS zugreifen kann. Da der CHILI/Web-Client in der plattformunabhängigen Programmiersprache Java geschrieben wurde, lässt sich dieser auf jedem Rechner mit installierter Java Virtual Machine ausführen. Er kann entweder durch einen Web-Browser aufgerufen werden oder läuft als eigenständiges Programm. Des Weiteren ist es möglich, den CHILI/Web-Client in andere Applikationen zu integrieren und von diesen aufrufen zu lassen (KIS, RIS, elektronische Patientenakte (EPA)) oder als aktive Komponente in eine HTML-Seite einzubetten.

Es wird vom CHILI/Web-Client bereits die Darstellung von Bildern verschiedener Modalitäten (CT, MR, US, ...) unterstützt. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, eine Bildteilung (1x1 bis 3x3) vorzunehmen und bis zu vier Studien auf einem Bildschirm zu öffnen. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, mehrere Serien oder Studien direkt miteinander zu vergleichen. Außerdem können Overlays eingeblendet und Annotationen sowie Messungen vorgenommen werden. Die Bilder können in einer Stack-, Kachel- oder Cineloop-Ansicht betrachtet werden. Der CHILI/Web-Client verfügt über die Fähigkeit der Imagefusion von PET- und CT-Bildern. Die Navigation erfolgt per Pfeiltasten, Maus, Mausrad oder einfaches Klicken auf ein Bild-Icon (Thumbnail) im Bildlocalizer.

Für die Bildanzeige und -analyse stehen die üblichen Funktionen wie Grauwertfensterung, Zoom/Bildschirm-Lupe, Bild-Interpolation, Rotation, Spiegeln und Grauwertintensivierung zur Verfügung. Ein weiteres Produktmerkmal ist die Funktion, sich multiplanare Rekonstruktionen (MPR, s. Kapitel 2.6.3) und Maximum Intensity Projections (MIP) anzeigen zu lassen und die rekonstruierten Daten danach abzuspeichern.

Als letzte Funktionalität des CHILI/Web-Clients sei hier noch auf die Fähigkeit synchronisierter Telekonferenzen mit anderen CHILI/Web-Clients oder CHILI/Workstations hingewiesen.

Die in dieser Bachelorarbeit zu entwickelnde RT Funktionalität soll in das bestehende MPR Viewing Modul des CHILI/Web-Clients integriert werden. Details hierzu werden in Kapitel 3 erläutert.

2 Material und Methoden

2.6.2.1 Benutzeroberfläche des CHILI/Web

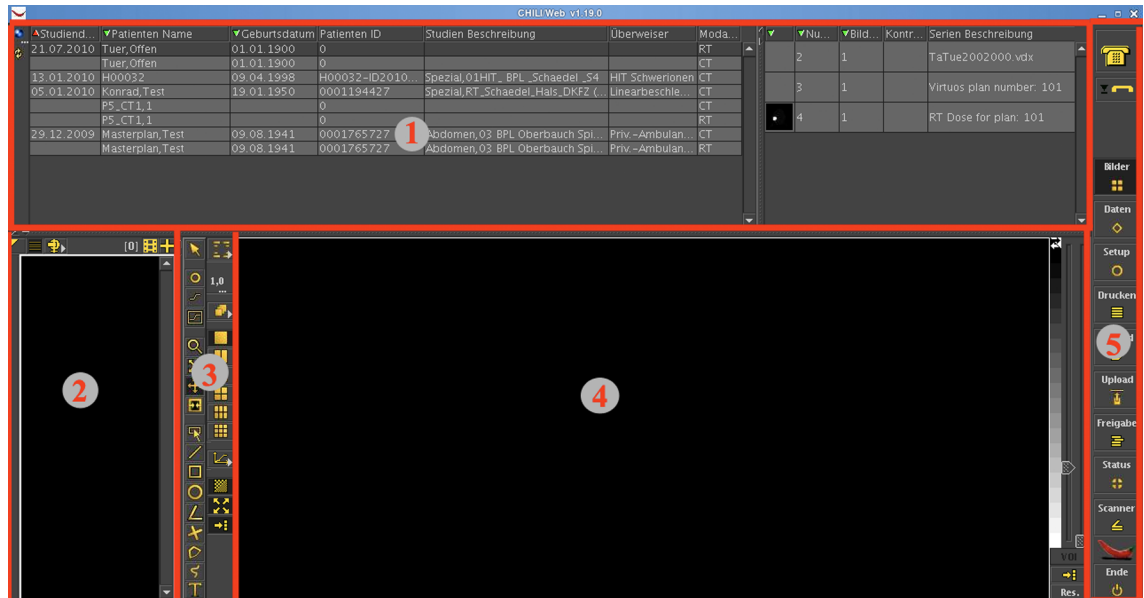


Abb. 2.6: Aufteilung der Benutzeroberfläche des CHILI/Web-Client in Datenbank (1), digitalen Lichtkasten (2), Werkzeugleiste (3), Arbeitsbereich (4) und Arbeitsbereichsleiste (5)

Die Benutzeroberfläche des CHILI/Web (Abbildung 2.6) lässt sich in die folgenden Bereiche unterteilen:

- Datenbank (1)
- Digitaler Lichtkasten (2)
- Werkzeugleiste (3)
- Arbeitsbereich (4) und
- Arbeitsbereichsleiste (5)

Die *Datenbank*ansicht stellt Informationen zu den Studien (links) und Serien (rechts) dar. Hier erfolgt die Auswahl der zu ladenden Daten.

Im *digitalen Lichtkasten* werden alle geladenen Bilder verkleinert als Thumbnails angezeigt. An zusätzlichen Informationen wird beispielsweise ein Rechteck auf dem Thumbnail abgebildet, das den tatsächlich angezeigten Bildausschnitt im Arbeitsbereich wiedergibt oder die Angabe der Bildnummer in der rechten unteren Ecke. Über den Lichtkasten ist

es möglich, gezielt einzelne Bilder in den Arbeitsbereich zu laden. Die Bedienelemente über dem Lichtkasten erlauben u.a. das Aktivieren der Localizer oder das Öffnen eines neuen Lichtkastens.

Zwischen dem Lichtkasten und dem Arbeitsbereich befindet sich die *Werkzeugleiste*, über die alle Bildbearbeitungsfunktionen (z.B. Zoom oder Verschieben) aufgerufen werden können. Diese können ebenfalls über ein Kontextmenü im Arbeitsbereich erreicht werden.

Die Fläche im Zentrum ist der *Arbeitsbereich*, in dem die verschiedenen Funktionalitäten je nach Einstellung ausgeführt werden können. Für den Arbeitsbereich *Bilder* erscheint hier der Bildbetrachter, in dem die Bilder angezeigt und bearbeitet werden.

Über die am rechten Rand befindliche *Arbeitsbereichsleiste* ist der Zugriff auf die verschiedenen Arbeitsbereiche möglich, die für das CHILI/Web zur Verfügung stehen. Für die in dieser Bachelorarbeit umgesetzte Funktionalität muss der Arbeitsbereich *Bilder* aktiviert sein. Außerdem gibt es noch den Arbeitsbereich *Upload*, um neue Datensätze hochzuladen.

2.6.3 Vorstellung des MPR Viewer

Beim MPR Viewer handelt es sich um ein Modul im CHILI/Web-Client, mit dem es möglich ist, multiplanare Rekonstruktionen (MPR) zu erzeugen und sich anzeigen zu lassen.

Unter multiplanarer Rekonstruktion versteht man ein Verfahren der zweidimensionalen Bildrekonstruktion, das u. a. in der Computertomographie (CT), der Nuklearmedizin, aber auch in der Kernspintomographie (MRT) verwendet wird. Für die Bilder der Computertomographie erzeugt der Bildrekonstruktionsalgorithmus zunächst transversale Schnitte (orthogonal zur Patientenlängsachse, Betrachtungsrichtung von den Füßen zum Kopf). Die MPR erzeugt dann aus den transversalen Schnitten frontale (Blick von vorne in den Patienten in anterior-posterior Richtung), sagittale (Blick in lateraler Richtung von der linken Seite des Patienten) oder oblique (schräge) Schnitte. Diese sollen es dem Betrachter erleichtern, sich besser anatomisch orientieren zu können. Um die Qualität der MPR zu verbessern, sollten die Schichten der Bildaufnahmen bei der CT überlappend und mit geringer Schichtdicke aufgenommen werden.

Sollten die Bilddaten nicht überlappend aufgenommen worden sein generiert der MPR Creator, der Serverprozess des MPR Viewers, der die eigentlichen Bildrekonstruktion durchführt, zusätzliche „Zwischenschichten“, die nicht im Original-Bilddatensatz vorhanden sind. Damit wird erreicht, dass die angezeigten Bilder für Coronal- und Sagittalansicht nicht gestaucht bzw. grobkörnig sind. Dies ist notwendig, da die Auflösung entlang der Längsachse des Körpers i.d.R. deutlich geringer ist als entlang der Horizontalachse und nach Möglichkeit auf einen gleichen Wert normiert werden sollte, um gleichmäßige Bilder in allen Ansichten zu erzeugen.

Der MPR Viewer ist in der Werkzeugleiste über den *Anzeige Modus*-Knopf auszuwählen. Dadurch wird der Arbeitsbereich des CHILI/Webs, wie in Abbildung 2.7 zu erkennen, aufgeteilt.

Neben der transversalen (1), frontalen (3) und sagittalen (4) Ansicht gibt es noch ein Kontrollpanel (2), über das man sich eine neue Serie der ausgewählten Ansicht generieren lassen (→ neue SeriesUID) und in der Datenbank abspeichern kann.

In den einzelnen Ansichten befindet sich jeweils zusätzlich ein „Drehkreuz“ (Localizer), mit dem es möglich ist, die Bilddaten zu rotieren. Die Schnittpunkte der Localizer in allen Ansichten bilden zusammen das Rotationszentrum. Durch die Rotation oder Navigation, also das Wechseln zwischen den einzelnen Schichten in einer Ansicht, werden die beiden anderen Ansichten automatisch aktualisiert. Die Navigation durch die Schichten ist ebenfalls durch Verschieben der Localizer (Nr. 5 in Abbildung 2.8) möglich. Die Localizer sind farbig dargestellt, um die Lage der dargestellten Ebenen in den drei Ansichten (Nr. 1, 3 und 4 in Abbildung 2.7) einordnen zu können.

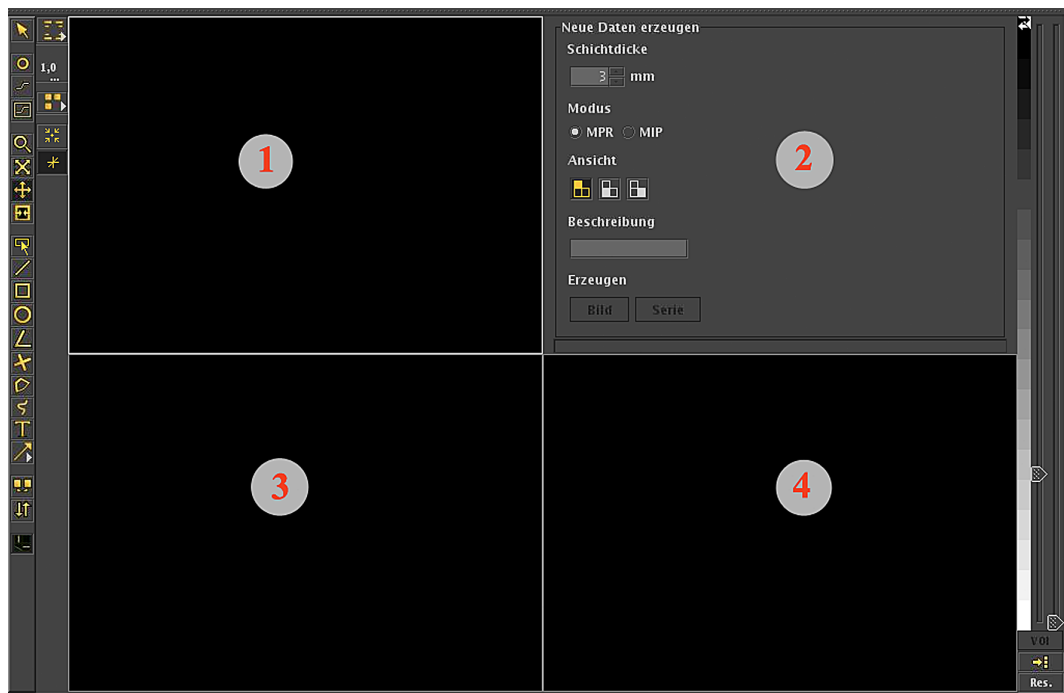


Abb. 2.7: MPR Viewer Modul Aufteilung im CHILI/Web: (1) Transversalansicht, (2) Kontrollpanel, (3) Frontalansicht und (4) Sagittalansicht

2.7 Ermittlung der darzustellenden Konturen

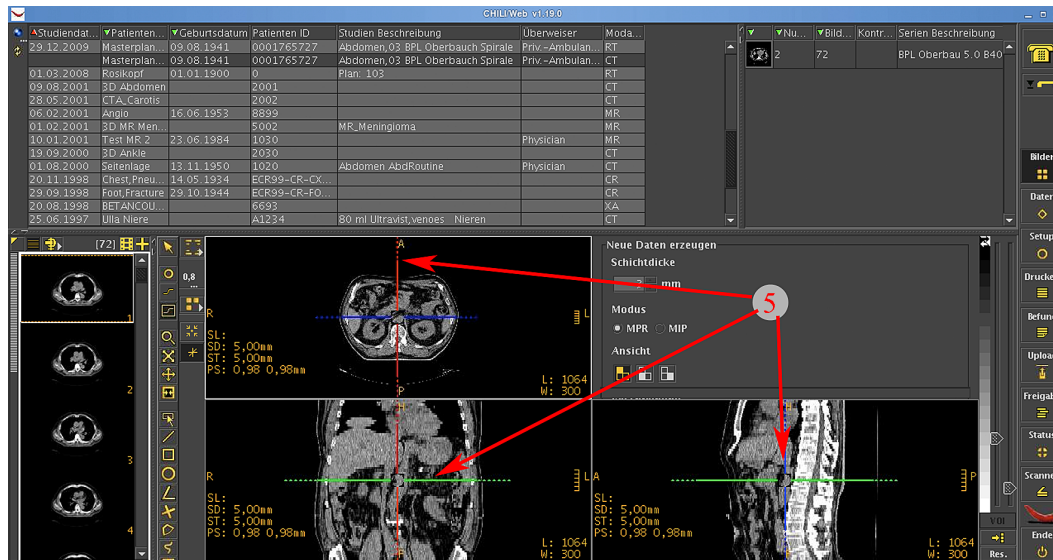


Abb. 2.8: Ansicht MPR Viewing Modul im CHILI/Web: (5) Localizer

2.7 Ermittlung der darzustellenden Konturen

In diesem Abschnitt soll erklärt werden, wie man die darzustellenden Konturen ermitteln kann. Zunächst erfolgt eine kurze Einführung in die Koordinatentransformation. Daran anschließend wird beschrieben, wie die darzustellenden Kontupunkte in dieser Bachelorarbeit ermittelt werden.

2.7.1 Grundlagen der Koordinatentransformation

Geometrische Transformationen stellen wichtige Operationen in der Computergrafik und Bildregistrierung dar. Letztere ist für diese Bachelorarbeit von Bedeutung, da die segmentierten Strukturen mit den einzelnen Bildern und Bildrekonstruktionen in Übereinstimmung gebracht werden müssen. In den zu Grunde liegenden Aufnahmen der bildgebenden Modalität werden die einzelnen Pixel durch ihre x- und y-Koordinate in dem betreffenden *Bildkoordinatensystem* (= Koordinaten in einer Schicht) lokalisiert. Mit den in Kapitel 2.3.2 genannten Attributen lassen sich die Pixelkoordinaten der einzelnen Schichten in *Patientenkoordinaten* transformieren. Dies führt dazu, dass man alle RT spezifischen Daten, wie Structure Sets, Dosisverteilung und die Bilder in einem gemeinsamen *Koordinatensystem* hat und sie so in gleicher Beziehung zueinander stehen. Abschließend soll hier noch auf das *Bildschirmkoordinatensystem* hingewiesen werden,

2 Material und Methoden

über das die Ansprache der einzelnen Pixel auf dem Bildschirm des Anwenders geregelt wird.

Abbildung 2.9 soll diesen Zusammenhang noch einmal verdeutlichen. Die Bedeutung von Transformationsmatrizen wird im folgenden Abschnitt noch näher erläutert. Die in Abbildung 2.9 verwendeten Matrizen haben folgende Bedeutung:

- T_{PB} : Transformation von Patienten- in Bildkoordinaten
- T_{BBS} : Transformation von Bild- in Bildschirmkoordinaten
- T_{PBS} : Transformation von Patienten- in Bildschirmkoordinaten

Bei den T^{-1} -Matrizen handelt es sich um die jeweilige inverse Matrix, mit der die Transformation umgekehrt werden kann.

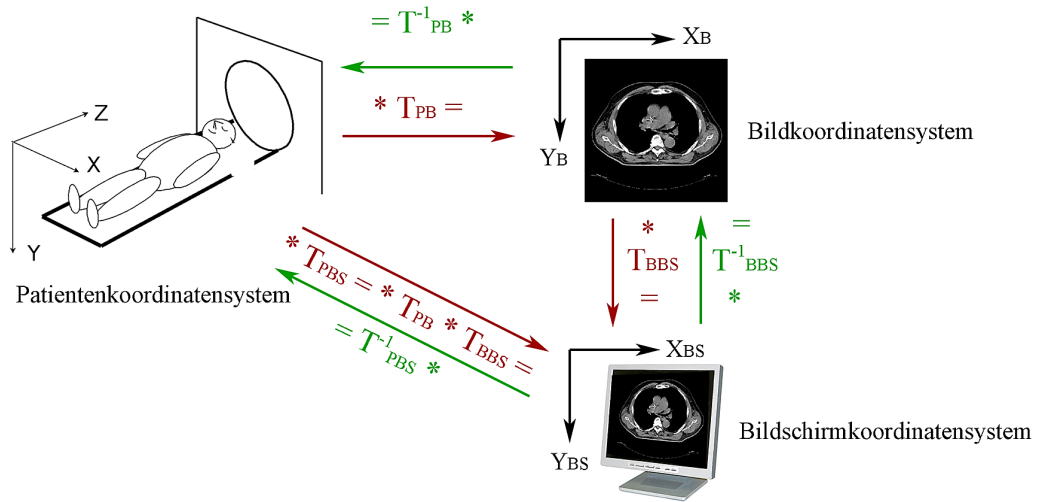


Abb. 2.9: Koordinatensysteme und ihre Übergänge: T_{PB} = Transformation von Patienten- in Bildkoordinaten; T_{BBS} = Transformation von Bild- in Bildschirmkoordinaten; T_{PBS} = Transformation von Patienten- in Bildschirmkoordinaten

Quelle für Grafik „Patientenkoordinatensystem“: <http://www.vtk.org/Wiki/Proposals:Orientation>

2.7.1.1 Geometrische Transformationen und homogene Koordinaten

Bei den hier zu verwendenden Transformationen handelt es sich um sogenannte *lineare geometrische*, also affine Transformationen, die einen konstanten, ortsinvarianten Flächenvergrößerungsfaktor haben. Typische Transformationsvorgänge sind die *Translation* (= Verschiebung, s. Gleichung 2.1), die *Rotation* (= Drehung, s. Gleichung 2.2) und die *Skalierung* (= Veränderung des Maßstabes, s. Gleichung 2.3) [2].

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Komplexere Transformationen erfolgen durch Hintereinanderausführung der Grundoperationen [2]. Zu beachten ist, dass Matrizenmultiplikationen nicht kommutativ, aber assoziativ sind. Dies führt dazu, dass verschiedene Matrizenmultiplikationen zu einer resultierenden Gesamttransformationsmatrix ausmultipliziert werden können. Hieraus ergibt sich eine Verringerung des Berechnungsaufwands, sobald viele Punkte transformiert werden müssen. Da die Translation durch eine Addition beschrieben wird (s. Gleichung 2.1), muss sie bei dem bisherigen Verarbeitungsschema separat behandelt werden. Die Lösung dieses Problems ist die Umwandlung der einzelnen Punkte in *homogene Koordinaten*, da mit diesen alle Transformationen durch Matrixmultiplikationen realisiert werden können.

Bei *homogenen Koordinaten* werden die Vektoren um ein Element w erweitert ($P = \begin{bmatrix} x & y & w \end{bmatrix}$). Dies führt dazu, dass aus einem Punkt in der Ebene eine Linie im dreidimensionalen Raum wird. x/w , y/w sind die kartesischen Koordinaten des homogenen Punktes P. Da die Vektoren nun drei Elemente haben, müssen jetzt auch die Transformationen erweitert werden (s. Gleichungen 2.4 - 2.6). Dies führt dazu, dass die Translation nun auch durch die Multiplikation (s. Gleichung 2.4) mit einer Matrix ausgedrückt werden kann und so Translationsmatrizen multiplikativ verknüpft werden können.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cos(\varphi) - y \sin(\varphi) \\ x \sin(\varphi) + y \cos(\varphi) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Unter Ausnutzung der Assoziativität und Matrixmultiplikation lassen sich nun alle Transformationen zusammenfassen, was zu einer deutlichen Reduktion des Berechnungsaufwandes bei vielen Punkten führt. Das Prinzip lässt sich natürlich noch auf den 3D-Raum erweitern. Die Rotationen erfolgen dabei entgegen des Uhrzeigersinns.

$$T(t_x, t_y, t_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$S(s_x, s_y, s_z) = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$R_x(\varphi_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi_x) & -\sin(\varphi_x) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_x) & \cos(\varphi_x) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$R_y(\varphi_y) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_y) & 0 & \sin(\varphi_y) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_y) & 0 & \cos(\varphi_y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$R_z(\varphi_z) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_z) & -\sin(\varphi_z) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_z) & \cos(\varphi_z) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Über die inverse Transformationsmatrix [8] ist es möglich, eine entsprechende Transformation in „umgekehrter Richtung“ durchzuführen.

2.7.2 Ermittlung und Berechnung der Koordinaten der darzustellenden Konturpunkte

Für die Ermittlung der relevanten Konturpunkte kann man das zuvor beschriebene Prinzip der inversen Transformation verwenden. Als Bildebene wird die Axial-, die Coronal- bzw. die Sagittalansicht vorgegeben. Des Weiteren benötigt man noch einen Punkt der rotierten Ebene. Hierfür bietet sich das Rotationszentrum P_R , mit seinen

Koordinaten x_P , y_P und z_P , an. Als letztes sind noch die Rotationswinkeln $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ notwendig, die angeben, wie die Ebene zur Bildebene um die x-, y- und z-Achse rotiert wurde. Mit Hilfe dieser Parameter lässt sich die Transformationsmatrix TM (s. Kapitel 2.7.1) bestimmen:

$$TM(x_P, y_P, z_P, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_P \\ 0 & 1 & 0 & y_P \\ 0 & 0 & 1 & z_P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi_x) & -\sin(\varphi_x) & 0 \\ 0 & \sin(\varphi_x) & \cos(\varphi_x) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi_y) & 0 & \sin(\varphi_y) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_y) & 0 & \cos(\varphi_y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi_z) & -\sin(\varphi_z) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_z) & \cos(\varphi_z) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_P \\ 0 & 1 & 0 & -y_P \\ 0 & 0 & 1 & -z_P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Anstatt die Ebene vollständig zu rotieren, werden alle Konturpunkte $P_i = \begin{bmatrix} x_i & y_i & w_i \end{bmatrix}$ der betreffenden Kontur mit der inversen Transformationsmatrix in das Bildkoordinatensystem transformiert (Gleichung 2.13) und liegen nun als 3D Koordinaten in diesem vor.

$$P'_i = \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \\ 1 \end{bmatrix} = TM^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Mit Hilfe eines Schnittes, orthogonal zur Normalen der jeweiligen Ansichtsebene, erhält man die Konturpunkte, die dargestellt werden sollen. Hierdurch wird vermieden, dass Lücken in der Kontur entstehen, was der Fall wäre, wenn man nur die Konturpunkte betrachten würden, die sich direkt in der Ebene befinden. Auf Grund des orthogonalen Schnittes liegen alle Schnittpunktkoordinaten im Bildkoordinatensystem mit einer identischen Komponente vor, welche die Schicht der Ebene identifiziert (z.B. z-Koordinate in Axialansicht). Daher kann man jetzt diese weglassen und erhält aus den beiden anderen Komponenten die Bildkoordinaten mit der die Punkte in der gewünschten Bildebene darzustellen sind (Abbildung 2.10 auf der nächsten Seite).

In Abbildung 2.10 werden die 3D Koordinaten der Punkte im Patientenkoordinatensystem (schwarz) in 3D Koordinaten im Bildkoordinatensystem (orange) durch Rotation um die

y-Achse transformiert. Diese inverse Transformation wird durch den roten Pfeil dargestellt. Da alle Punkte in der Ebene des Bildes liegen, kann die z-Koordinate ignoriert werden.

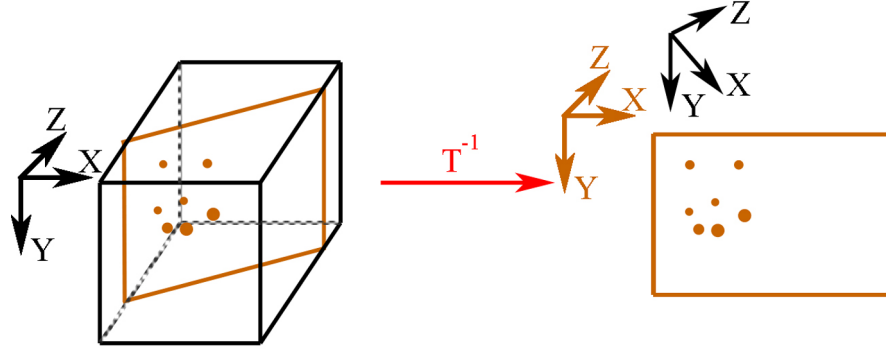


Abb. 2.10: Transformation der 3D Koordinaten im Patientenkoordinatensystems (schwarz) in 3D Koordinaten des Bildkoordinatensystems (orange) mit Hilfe der inversen Transformation (roter Pfeil). Da alle Punkte in der Ebene des Bildes liegen, kann die z-Koordinate weggelassen werden

Bei den zum Schnitt gebrachten Konturdaten handelt es sich um die Geraden zwischen benachbarten Konturpunkten P'_i und P'_{i+1} . Für die Schnittpunktbestimmung wird zunächst geprüft, ob die Gerade und die Ebene parallel verlaufen. Dies erfolgt durch Bildung des Skalarproduktes der Ebenennormale mit der Punktdifferenz: $n \cdot (P'_{i+1} - P'_i) = 0$ (Hessesche Normalform, vgl. [8]). Ist diese Gleichung erfüllt, bedeutet es, dass die Gerade senkrecht zur Ebenennormale steht. Falls dies der Fall ist, muss noch überprüft werden, ob die Gerade in der Ebene liegt, also die Gerade zwischen den beiden Punkten darzustellen ist, oder parallel verläuft und die Punkte nicht dargestellt werden dürfen. Dieser Test erfolgt wieder per Skalarprodukt: $n \cdot (P'_i - P_R) = 0$.

Anderenfalls schneidet die Gerade die Ebene in genau einem Punkt SP_i (Abbildung 2.11). Am Schnittpunkt ist der Vektor $SP_i - P_R = w + su$, mit $w = P_i - P_R$, senkrecht zu n . Somit gilt hier die Bedingung $n \cdot (w + su) = 0$. Durch Auflösen erhält man s . Wenn für dieses $0 \leq s \leq 1$ gilt, bedeutet es, dass der Schnittpunkt zwischen den beiden gerade überprüften Konturpunkten P_i und P_{i+1} liegt und somit darzustellen ist. Ansonsten wird die Bildebene nicht zwischen diesen Punkten geschnitten und es muss an dieser Stelle nichts angezeigt werden[23].

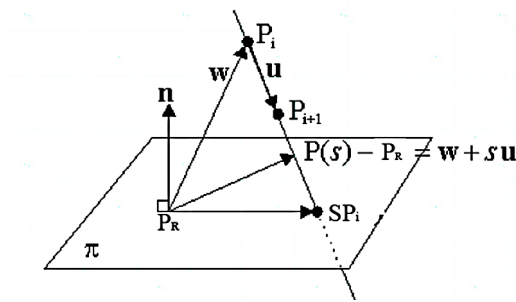


Abb. 2.11: Schnittpunktbestimmung mit der Ebene [23]

Da die drei oben genannten Ansichten unsere Bildebenen darstellen und wir für diese wissen, welche Koordinate des Schnittpunktes für die jeweilige Bildebene keine Rolle spielt (z.B. z-Koordinate für die Axialansicht), können wir diese bei dem ermittelten Schnittpunkten einfach ignorieren.

3 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit ist zunächst eine Analyse der Anforderungen durchgeführt worden, um zu wissen, welche Informationen künftig im Rahmen eines DICOM RT Viewing Moduls im CHILI-PACS zur Verfügung gestellt werden sollen. Das Ergebnis dieser Analyse und die daraus abgeleiteten wichtigsten Funktionalitäten wurden in einem Pflichtenheft (s. Anhang A) spezifiziert. Im weiteren Verlauf wurde durch eine erste Erweiterung der Client-/Server-Architektur das CHILI/Web um die Fähigkeit mit DICOM RT Structure Set Objekten umzugehen erweitert.

In diesem Kapitel sollen daher zunächst die wesentlichen Ergebnisse der Anforderungsanalyse vorgestellt werden, um dann zu beschreiben, wie die Erweiterung des CHILI/Webs um DICOM RT Structure Set Objekte erfolgte.

3.1 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse diente dazu herauszufinden, welche Funktionalität von einem neuen DICOM RT Viewing Modul im CHILI-PACS bereitgestellt werden soll. Das Modul muss später in der Lage sein, mit allen DICOM RT Objekten umgehen zu können, um einen Therapieplan vollständig anzeigen und interpretieren zu können. Primär entscheidend ist aber die Darstellung von sogenannten Dosis-Volumen-Histogrammen (DVH), da man hiermit einen Therapieplan quantitativ beurteilen kann (s. Kapitel 2.2).

An generellen Anforderungen wurde ermittelt, dass neben der eigentlichen Darstellung der Bilddaten noch eine Fensterungsfunktion (Einstellen des Grauwertbereichs der dargestellt werden soll), eine Zoom-Funktionalität, eine Kachelung (mehrere „Fenster-Kacheln“ innerhalb des Arbeitsbereiches) und die Anzeige von Patientendaten gewünscht sind. Diese Funktionen werden bereits vom CHILI/Web zur Verfügung gestellt. Für die neu zu entwickelnden Funktionen bietet es sich an, auf den bereits bestehenden MPR Viewer (s. Kapitel 2.6.3) aufzubauen und diesen um die RT Funktionen zu erweitern (s. Kapitel 3.2 - 3.4).

Zur Darstellung von DVHs sind die DICOM RT Objekte *RT Structure Set* und *RT Dose* notwendig (s. Kapitel 2.3.3). Hieraus folgte im ersten Schritt, dass die Darstellung von zuvor segmentierten Strukturen (\rightarrow *RT Structure Set*) implementiert werden sollte, um danach die Darstellung der Dosisverteilung (\rightarrow *RT Dose*) umsetzen zu können. Da

die Anzeige der Structure Sets in dieser Arbeit realisiert wurde, seien nachfolgend die geforderten Anforderungen hierfür angeführt

- Anzeige von Structure Sets:
 - Transversal-Ansicht als Grundlage
 - Zunächst Anzeige aller Strukturen
- Struktur einzeln aktivierbar
 - Liste aller Strukturen, in der diese einzeln an- und abwählbar sind
- Verschiedenfarbige Darstellung und Benennung von Strukturen
 - Einzelne Strukturen sollen unterschiedliche Farbdarstellung und Schrift haben können
 - Verwendung der in den RT Dateien hinterlegten Werte oder
 - automatische Zuweisung durch das CHILI/Web soweit nicht definiert

3.2 Integration ins CHILI/Web (Client)

Die von der in Kapitel 3.4 beschriebenen Serveranwendung bereit gestellte DICOM RT Funktionalität sollte in das CHILI/Web integriert werden, um dem Benutzer die gezielte An- und Abwahl einzelner segmentierter Strukturen zur besseren Übersicht zu ermöglichen. In Abbildung 3.1 ist die Oberfläche und die Integration der RT-Funktionalität ins CHILI/Web zu erkennen.

Aufgerufen werden kann das RT Viewing Modul momentan nur über den MPR Viewer (s. Kapitel 2.6.3). Nachdem dieser Ansichtsmodus gewählt ist, hat die Anforderung der Bildserie (zu der es auch RT Daten gibt) über die Datenbankansicht zu erfolgen. Das zugehörige RT Structure Set wird automatisch aus der Datenbank ermittelt und geladen.

Für die Visualisierung der RT Structure Sets wurde in das Kontrollpanel des *MPRViewers* (Erläuterung zum *MPRViewers* in Kapitel 3.3.1) ein Registerreiter für die Verwaltung der Strukturen eingefügt (Abbildung 3.1 Nr. 1). Damit ist es möglich, einzelne Strukturen sichtbar bzw. unsichtbar zu machen oder die Farbe der einzelnen Strukturen zu ändern. Per Klick auf die aktuell hinterlegte Farbfläche (Abbildung 3.1 Nr. 2) öffnet sich ein entsprechender Dialog (s. Abbildung 3.2).

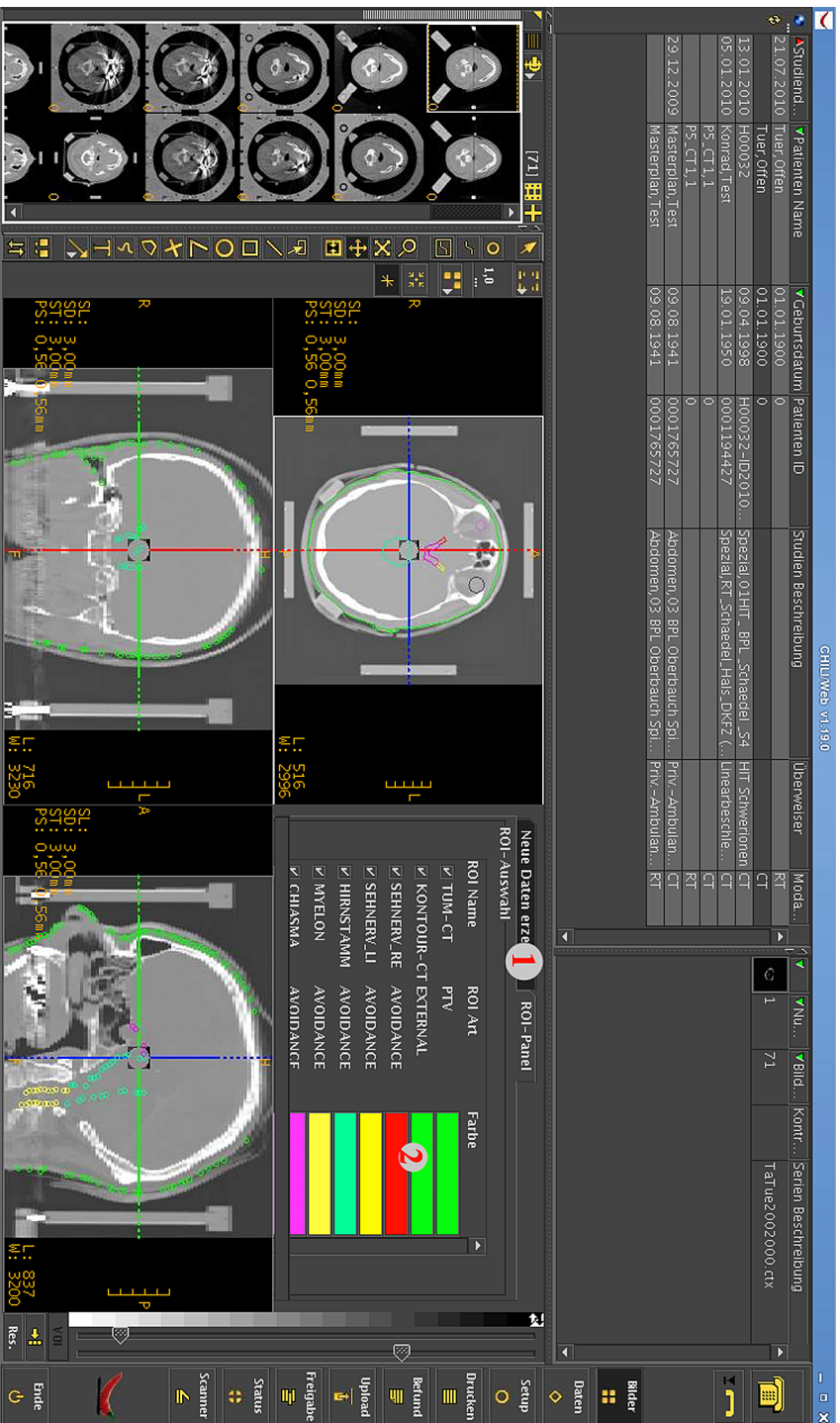


Abb. 3.1: Benutzeroberfläche CHILL/ Web mit RT-Integration: Eingezeichnete Konturlinien bzw. -punkte der im Structure Set gespeicherten Strukturen und Kontrollpanel für Structure Set (1) mit Schaltflächen (2) um Farbwähler für Strukturen aufzurufen

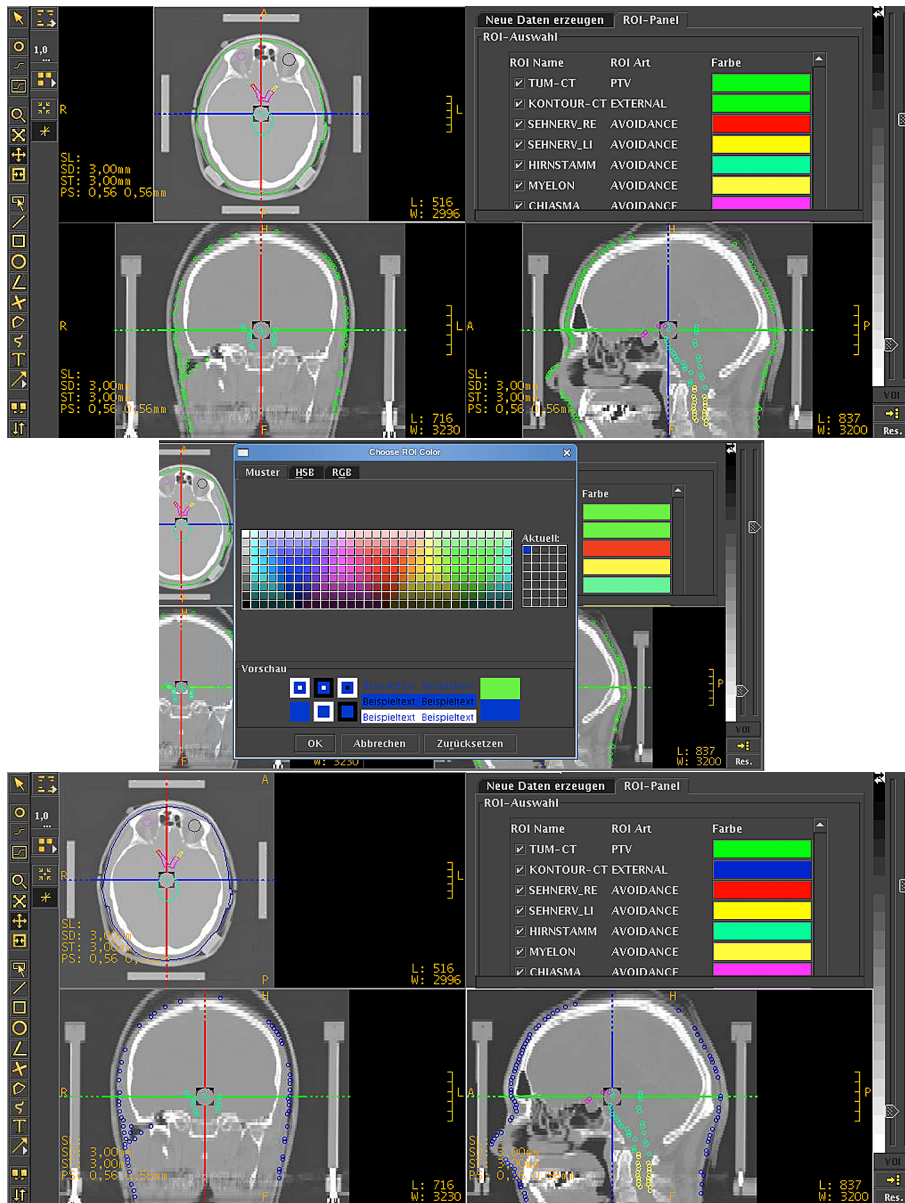


Abb. 3.2: Farbänderung einer Struktur: Zunächst Aufruf des Farbwählers durch Anklicken der Farbfläche für die zu ändernde Kontur, dann Auswahl der neuen Farbe und Bestätigen der Auswahl

Die Darstellung in den einzelnen Schichten bzw. Ebenen wurde dahingehend erweitert, dass die aktuell ausgewählten Strukturen (s. Abbildung 3.1 Nr. 1) jeweils über die erzeug-

ten Bilder gelegt werden. Da die Konturpunkte bisher noch nicht in ein Oberflächenmodell überführt werden, liegen die Konturpunkte lediglich in der unrotierten Axialansicht in der richtigen Reihenfolge vor. Der Grund hierfür ist, dass die Bilder des Planungs-CTs streng axial aufgenommen und die Strukturen im Rahmen der Tumorlokalisation (s. Kapitel 2.2) in diesen Schichtbildern segmentiert werden. Da u.a. die Abstände der Konturpunkte je Schicht nicht gleich sein müssen, weiß man nicht, welche Punkte in benachbarten Schichten miteinander verbunden werden müssen und an welchem Punkt zu starten ist. Das hierfür notwendige Wissen kann nur durch ein Oberflächenmodell erbracht werden. All dies führt dazu, dass nur in der unrotierten Axialansicht die anzuzeigenden Konturpunkte durch eine (geschlossene) Konturlinien miteinander verbunden werden. Eine geschlossene Konturlinie ist für die Berechnung des Dosis-Volumen-Histogramms (DVH) wichtig. In den beiden anderen Ansichten erfolgt die Darstellung der Konturpunkte als unverbundene Kreise (s. Abbildung 3.1 auf Seite 32).

Da das Problem der Rotation noch nicht vollständig gelöst werden konnte, wurde diese Funktionalität deaktiviert. Es ist nicht mehr möglich, die Localizer in den Ansichten zu drehen, lediglich ein Verschieben wird ermöglicht. Dadurch können momentan nur Konturen in Axial-, Coronal- und Sagittalansicht angezeigt werden.

3.3 RT Informationsfluss im CHILI/Web

Der CHILI/Web-Client kommuniziert über HTTP mit einem Servlet und dieses über Pipes (s. Kapitel 2.6) mit den jeweiligen Serverprozessen. Abbildung 3.3 auf der nächsten Seite zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Klassen, die zur Darstellung der RT relevanten Informationen verwendet werden. Die Klassen sollen nun noch eingehender vorgestellt werden.

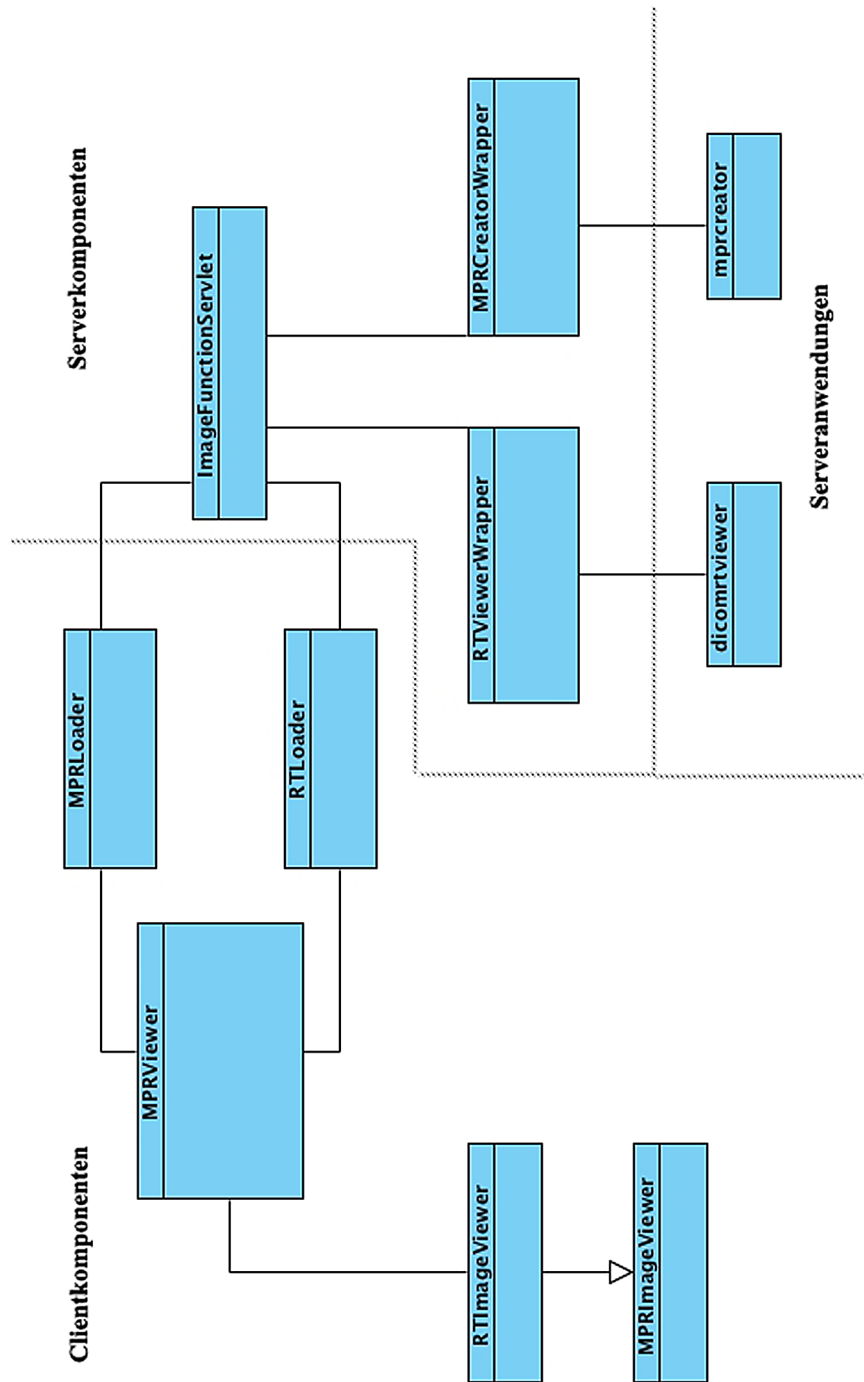


Abb. 3.3: Vereinfachtes Klassendiagramm der Klassen für die Darstellung von DICOM RT Daten im CHILI/Web

3.3.1 MPRViewer

Der bestehende *MPRViewer* (roter Rahmen in Abbildung 3.4) dient als „Schaltzentrale“ der Darstellung und wurde dahingehend erweitert, dass jetzt auch RT Daten verarbeitet werden können. Dem *MPRViewer* wird bei seiner Erzeugung durch das CHILI/Web, also dem Wechsel in die MPR-Ansicht, mitgeteilt, ob er die RT Funktionalität bereitstellen soll oder nicht. Für den Fall, dass keine RT Daten bereitgestellt werden müssen, bleibt die Ansicht wie beim bisherigen *MPRViewer* (Abbildung 2.7 auf Seite 22). Die Darstellung der Axial-, Coronal- und Sagittalansicht wird dann jeweils durch eine Instanz der Klasse *MPRImageViewer* (grüne Rahmen in Abbildung 3.4) realisiert.

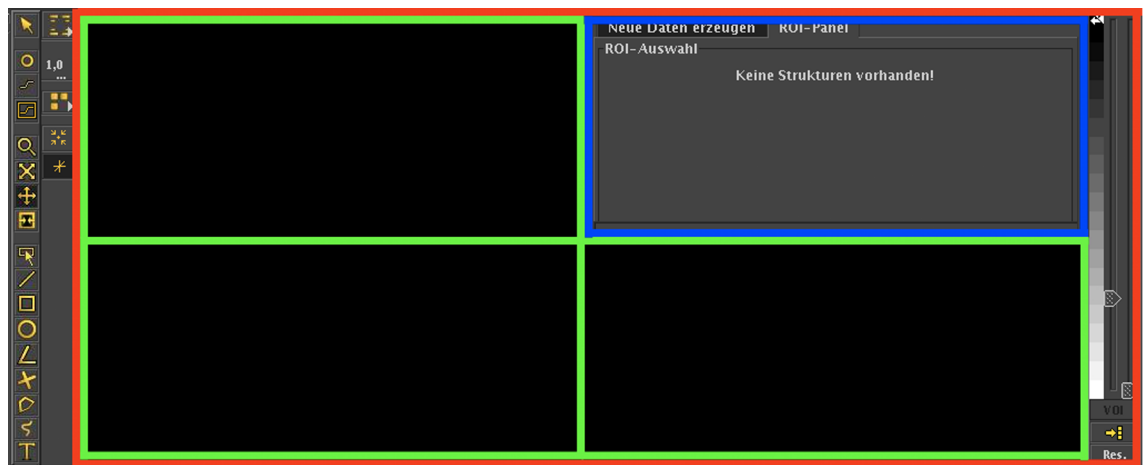


Abb. 3.4: Aufteilung des Arbeitsbereiches beim RT Viewing Modul: Roter Rahmen = *MPRViewer*; grüne Rahmen = je ein *RTImageViewer*; blauer Rahmen = Kontrollpanel

Wenn hingegen RT Daten darzustellen sind, werden für die Darstellung der Bild- und RT-Daten Instanzen der Klasse *RTImageViewer* an Stelle der *MPRImageViewer* verwendet. Daneben wird das Kontrollpanel (blauer Rahmen in Abbildung 3.4) um entsprechende RT-Register erweitert. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit ist es das Panel für die Anzeige der Structure Sets. Für weitere RT Funktionalität können hier entsprechende Register ergänzt werden (z.B. Anzeige Dosisverteilung, DVH, etc.). Die Bilddaten werden wie beim *MPRViewer* per *MPRLoader*, die RT spezifischen Daten über den neu eingeführten *RTLoader* angefordert.

Für die Anforderung der darzustellenden Konturen übergibt der *MPRViewer* an den *RTLoader* den aktuellen Rotationspunkt und drei Rotationswinkel um die x-, y- und z-Achse. Der Rotationspunkt ist in den drei *RTImageViewern* durch die Localizer

(s. Abbildung 3.1 auf Seite 32 und Kapitel 2.6.3) zu erkennen. Dieser wird, wie auch die drei Rotationswinkel, intern vom *RTLoader* verwaltet.

Bei der Rotation gibt es noch ein Problem, das im Verlauf dieser Bachelorarbeit nicht mehr gelöst werden konnte. Dieses äußert sich im Auseinanderlaufen von Kontur- und Bilddaten bei nicht rudimentären Rotationen. Wahrscheinlich ist es darauf zurückzuführen, dass die Winkel vom MPR Viewer und RT Viewer unterschiedlich verwaltet werden. Da die Ursache des Problems zunächst beim Serverprozess vermutet wurde, fiel dies leider erst gegen Ende dieser Arbeit auf und konnte daher nicht mehr genauer untersucht werden. Für die genaue Ermittlung des Problems sollte an dieser Stelle mit der Analyse fortgefahren werden.

3.3.2 RTImageViewer

Der *RTImageViewer* (grün eingerahmte Bereiche in Abbildung 3.4) ist für die Anzeige der einzelnen Ansichten und die Überlagerung mit den RT Informationen zuständig. Er erweitert die Klasse *MPRImageViewer*, die für die Darstellung der multiplanaren Rekonstruktionen zuständig ist, und nutzt deren Funktionalität zur Darstellung der entsprechenden Bilddaten. Der *RTImageViewer* überschreibt die *paintComponent(Graphics g)*-Methode des *MPRImageViewers* zur Darstellung der Konturpunkte. Des Weiteren erhält der *RTImageViewer* vom *MPRViewer* eine Liste mit Objekten vom Typ *RTROI*, welche die im RT Structure Set vorhandenen Strukturen repräsentieren. In den *RTROI*-Objekten gibt es eine boolesche Variable, die angibt, ob die jeweilige Struktur darzustellen ist oder nicht. So weiß der *RTImageViewer* welche Strukturen er zu zeichnen hat.

Spätere RT spezifische Überlagerung der Bilddaten, z.B. mit einer Dosisverteilung, sind in dieser Klasse zu ergänzen.

3.3.3 RTLoader

Der *RTLoader* übernimmt die Anforderung der RT-Informationen von dem RT Serverprozess *dicomrtviewer* (s. Kapitel 3.4.2) und die Rückgabe an den *MPRViewer*. Die Anfragen leitet der *RTLoader* an das *ImageFunctionServlet* weiter, das per *RTViewerWrapper* mit dem *dicomrtviewer* kommuniziert.

Intern verwaltet der *RTLoader* die aktuelle Position im Bildvolumen in Patientenkoordinaten und für jede Ansicht die drei Rotationswinkel um die x-, y- und z-Achse. Dem *MPRViewer* werden entsprechende Methoden zur Verfügung gestellt, um diese bei einer Translations- oder Rotationsanforderung des Benutzers entsprechend anpassen zu können. Um die Daten für eine neue RT-Serie zu Laden, wird vom *MPRViewer* die *setSeries(String seriesOID)*-Methode mit der entsprechenden SeriesOID aufgerufen.

Sollte es beim Laden zu einem Problem kommen (z.B. eine noch nicht umgesetzte Funktion wie unterschiedlicher *Frame of Reference*), wird dem Benutzer ein entsprechender Warnhinweis in Form eines Dialogfensters angezeigt.

Für die Anforderung der Strukturen und Konturdaten stehen die folgenden Methoden bereit:

```
1 public float [] requestSSContour(int view, int roiNo) throws
    SessionException, IOException {...}
2 public ArrayList getAllRois() throws SessionException,
    IOException {...}
3 public RTROI getRoi(int roiNo) throws SessionException,
    IOException {...}
```

Die Exceptions werden vom *MPRViewer* gefangen und intern verarbeitet. Für zukünftige RT-Funktionen, die von dem Serverprozess bearbeitet werden sollen, sind entsprechende Methoden im *RTLoader* zu definieren, die entsprechende Servletanfragen produzieren.

3.3.4 ImageFunctionServlet

Bei dem *ImageFunctionServlet* handelt es sich um das Servlet, das die Verbindung zu den Serveranwendungen über sogenannte Wrapper herstellt. Bei den Wrappern handelt es sich um Adapter [7] für die Kommunikation von Client und Server, da der Client versucht per HTTP [11] mit dem Serverprozess in Verbindung zu treten, dieser aber für den Befehls- und Datenaustausch über Standard-Input/Output konzipiert ist. Für die Bilddaten verwendet es Instanzen des *MPRCreatorWrapper*, um mit dem *mprcreator* zu kommunizieren. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde das *ImageFunctionServlet* um den Zugriff auf den *dicomrtviewer* (s. Kapitel 3.4.2) erweitert. Dafür wurde der *RTViewerWrapper* entwickelt. Das *ImageFunctionServlet* prüft, ob bei der Anfrage vom Loader das *canrt*-Flag gesetzt wurde (= Anfrage kam vom *RTLoader* → *dicomrtviewer*). Je nach dem welcher Anforderungsparameter (z.Z. nur *getroi* und *getrois*) gesetzt wurde, wird die entsprechende *RTViewerWrapper*-Methode aufgerufen. Die an das Servlet übergebenen *HttpServletRequest*- und *HttpServletResponse*-Objekte [26] werden direkt an den *RTViewerWrapper* weitergegeben, um dort adäquat verarbeitet bzw. gefüllt zu werden.

3.3.5 RTViewerWrapper

Wie bereits erwähnt stellt der *RTViewerWrapper* die eigentliche Kommunikation mit dem *dicomrtviewer*, dem Serverprozess für die DICOM RT Funktionalität, her. Er kommuniziert mit dieser über eine Pipe zum Standard-Input/Output (s. Kapitel 2.6.1). Zu

Beginn der Kommunikation übergibt der *RTViewerWrapper* an den *dicomrtviewer* (s. Kapitel 3.4.2.1) die Pfade zu allen RT-Dateien der übergebenen Serie (SeriesOID, s. Kapitel 3.3.3), damit der *dicomrtviewer* diese einlesen kann. Anschließend werden die Pfade aller Bilder der Serie übergeben, damit der *dicomrtviewer* aus diesen die ihm noch fehlenden Informationen ziehen kann (z.B. Offsets). Nach dem dieser Initialisierungsprozess abgeschlossen ist, wartet der *RTViewerWrapper* auf weitere Aufrufe durch das *ImageFunctionServlet*. Diesem werden folgende Methoden für den Zugriff auf die Structure Sets zur Verfügung gestellt:

```
1 public synchronized void getRois(HttpServletRequest req ,  
    HttpServletResponse res) throws IOException {...}  
2 public synchronized void getContourData(HttpServletRequest req ,  
    HttpServletResponse res) throws IOException {...}
```

Die erste Methode dient dem Erhalt aller ROIs im Structure Set mit ihren jeweiligen Daten. Die zweite Methode wird verwendet, um darzustellende Konturpunkte zu ermitteln.

3.4 Design und Implementierung der Serveranwendung

In diesem Abschnitt wird das Design und die Implementierung der Serveranwendung beschrieben. Das Zusammenspiel der einzelnen Klassen soll zunächst durch ein Klassendiagramm erläutert werden, um daran anschließend die einzelnen Klassen genauer mit ihrer Funktionalität darzustellen.

3.4.1 Klassendiagramm der Serveranwendung

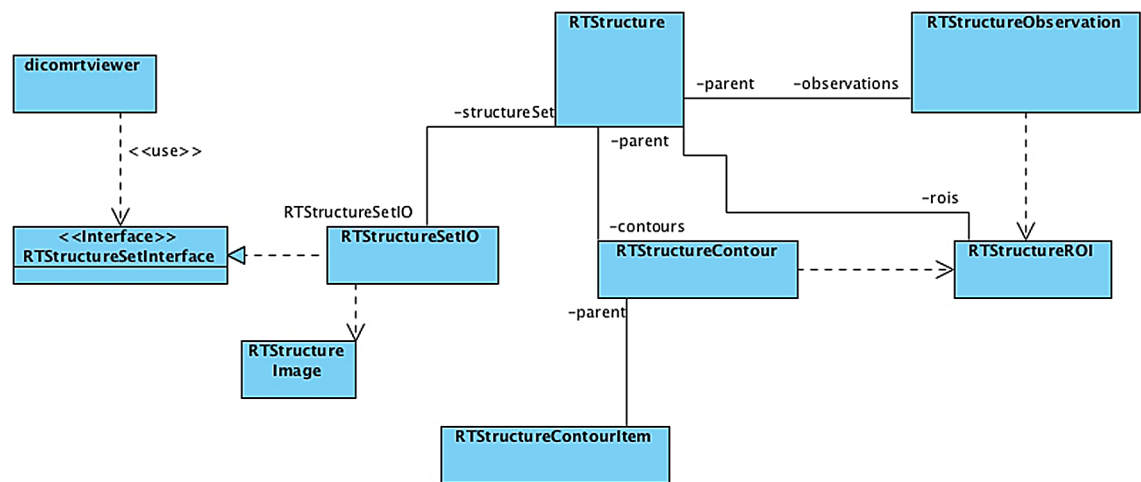


Abb. 3.5: Vereinfachtes UML-Klassendiagramm der Serveranwendung zur Verwaltung von DICOM RT Dateien

Der Client fordert die RT Informationen bei der Serveranwendung *dicomrtviewer* an. Dem *dicomrtviewer* wird über das *RTStructureSetInterface* der Zugriff auf ein RT Structure Set zur Verfügung gestellt. Dieses Interface definiert die für die Verwaltung von Structure Sets nötigen Zugriffsmöglichkeiten, um an die im RT Structure Set hinterlegten Informationen zu gelangen. Die Klasse *RTStructureSetIO* stellt die konkrete Implementierung dieses Interfaces dar. Die übrigen Klassen dienen *RTStructureSetIO*-Objekten zur Verwaltung der Informationen eines RT Structure Sets und werden im Kapitel 3.4.2 genauer vorgestellt.

Durch das *RTStructureSetInterface* soll die Möglichkeit gegeben werden, die hier vorgestellte Implementierung ggf. später durch eine DICOM RT Bibliothek (z.B. *dcmrt* (s. Kapitel 2.4)) ersetzen zu können, die u.U. mehr Funktionalität bereitstellt und fortwährend weiterentwickelt und verbessert wird. Abbildung 3.5 zeigt die Klassen und ihre Verknüpfung der im Rahmen dieser Bachelorarbeit vorgenommenen Implementierung als Klassendiagramm.

3.4.2 Implementierung des Programms und Klassenbeschreibung

Nachfolgend sollen die Aufgaben der einzelnen Klassen der Implementierung vorgestellt werden.

3.4.2.1 dicomrtviewer - Die Serveranwendung

Wie bereits zuvor erwähnt, handelt es sich bei dem *dicomrtviewer* um das eigentliche Hauptprogramm. Nachdem der Client eine Verbindung hergestellt hat, wartet der *dicomrtviewer* auf Befehle vom Client, die ihn über eine Pipe per Standard-Input erreichen. Die Anforderungen werden verarbeitet und die Ergebnisse dem Client danach über den Standard-Output und die Pipe zurück übermittelt. Nachdem der Client die Verbindung beendet hat oder diese aus einem anderen Grund abgebrochen ist, wird die Serveranwendung verlassen. Für die Verarbeitung der RT Daten nutzt der *dicomrtviewer* Methoden, die ihm per Interfaces zur Verfügung gestellt werden. Die Idee ist es, für jedes RT Informationsobjekt ein eigenes Interface zu deklarieren. So stellt beispielsweise das *RTStructureSetInterface* (s. Kapitel 3.4.2.2) das Interface für den Zugriff auf RT Structure Set Objekte dar.

Um die Funktionalität des *dicomrtviewers* zu erweitern, sollten zukünftig entsprechend weitere Interfaces definiert werden. Dies wird im Kapitel 4 noch genauer erläutert.

3.4.2.2 RTStructureSetInterface

Das *RTStructureSetInterface* definiert Methoden um auf RT Structure Set Objekte (s. 2.3.3.1) zugreifen zu können. Außerdem werden hier noch einige Aufzählungstypen zur Verwaltung von RT Structure Sets definiert. Sie dienen dazu, die geometrische Art einer Kontour (*GEOMTYPE* → (3006, 0042)), die Interpretation einer ROI (*INTERPRETED-TYPE* → (3006, 00A4)) und die Standardansichten (*VIEW* → axial, coronal, sagittal) festzulegen.

Die wichtigsten Methoden sind:

```
1 int readIntoStructures( char *filename )
2 int getROICount()
3 void getAvailableROINumbers(int *roiNumbers, int roiCount)
4 void getContourCoord( int roiNo, VIEW view, float *curPosition,
    float* angle, float **xCoordsRet, float **yCoordsRet, int &
    coordCount)
```

Die erste Methode bewirkt das Einlesen der für das RT Structure Set relevanten Dateien. Bei den relevanten Dateien handelt es sich sowohl um das eigentliche RT Structure Set

selbst als auch um die dazugehörigen Bilder. Die Methode erkennt eigenständig, um welchen Dateityp es sich handelt und liest dementsprechend ein. Dabei ist zu beachten, dass zuerst die Datei, die das RT Structure Set enthält, übergeben wird. Danach müssen **alle** Bilddateien der Serie übergeben werden, damit ermittelt werden kann, welches Ausmaß der Datenwürfel hat. Dies ist notwendig, um die Koordinaten passend zu transformieren (s. Kapitel 2.7.1) und zurückzugeben. Nach einem erfolgreichen Einlesen gibt die Methode den Wert 0 zurück, andernfalls einen Wert $\neq 0$, über den ermittelt werden kann, an welcher Stelle es zu einem Problem gekommen ist.

Die zweite Methode dient dazu, sich die Anzahl der im Structure Set definierten ROIs zurückgeben zu lassen. Mit Hilfe der dritten Methode ist es möglich, sich die verwendeten, im Structure Set eindeutigen Nummern der einzelnen ROIs in ein Array (*roiNumbers*) speichern zu lassen. Diese Methode wurde eingeführt, da der DICOM-Standard [12] lediglich festlegt, dass die ROI-Nummer eindeutig sein muss. Es ist jedoch nicht geregelt, bei welchem Wert die Nummerierung beginnt und in welchen Schritten sie durchgeführt wird. Im Allgemeinen startet man bei dem Wert 1 und erhöht jeweils um 1.

Die zuletzt aufgeführte Methode ermittelt für die übergebene Ebene aus der Ansicht *view* (axial, coronal oder sagittal) und der Rotation um die x-, y- und z-Achse (*angle*) die Bildkoordinaten für die spezifizierte ROI (*roiNo*). Die Koordinaten werden in den Arrays *xCoordsRet* und *yCoordsRet* zurückgegeben. Die Anzahl der Konturpunkte wird zur Kontrolle in *coordCount* gespeichert.

Neben den genannten Methoden gibt es noch andere, über die sich diverse Metadaten des Structure Sets (z.B. Name und Beschreibung des Structure Sets, Patienteninformationen, etc.) abrufen lassen. Da diese für die eigentliche Darstellung der Strukturen keine Rolle spielen, sollen an dieser Stelle hierzu keine weiteren Ausführungen folgen.

3.4.2.3 RTStructureSetIO

Bei der Klasse *RTStructureSetIO* handelt es sich um die Implementierung des *RTStructureSetInterfaces*. Die allgemeinen Informationen des Structure Sets, wie Informationen über den Patienten, die Studie und die Serie werden in schon vorhandenen Strukturen des CHILI-Frameworks abgelegt. Die Structure Set spezifischen Daten werden von einem Objekt des Typs *RTStructure* verwaltet.

Für das Einlesen des Structure Sets gibt es eine Methode um den DICOM-Header auszulesen. Diese baut auf bestehenden Methoden des CHILI-Frameworks auf. Die erhaltenen Daten werden durch diese Klasse in die internen Strukturen (*RTStructure* - *RTStructureImage*) überführt. Die Sequenzen im Structure Set Header werden durch spezielle Methoden hierfür verarbeitet und bekommen jeweils nur den entsprechenden Teil des DICOM-Headers übergeben. Die Methoden für die einzelnen Sequenzen geben jeweils

einen Wert zurück, der angibt, ob die Sequenz erfolgreich in die internen Strukturen überführt werden konnte (Rückgabewert = 0) oder nicht (Rückgabewert \neq 0).

Generell lässt sich zu der vorgenommenen Implementierung sagen, dass diese momentan nicht alle Informationen der Structure Sets berücksichtigt und auf die minimal notwendigen Informationen beschränkt ist, um die Strukturen adäquat darstellen zu können. Dies hat zur Folge, dass unter anderem die Daten alle im selben Koordinatensystem (gleicher *Frame of Reference*) vorliegen müssen, da die *Frame of Reference Relationship Sequence* nicht berücksichtigt wird. Sollten die Daten einen unterschiedlichen *Frame of Reference* haben, wird die Einlesemethode des Structure Sets mit einem entsprechenden Rückgabewert verlassen, so dass der *dicomrtviewer* einen entsprechenden Hinweis an den Client senden kann, welcher dann dem Benutzer angezeigt wird.

3.4.2.4 RTStructure

Ein Objekt des Typs *RTStructure* dient dazu die Informationen der einzelnen ROIs (*RTStructureROI*) mit ihren Konturen (*RTStructureContour*) und ihrer Beobachtung (*RTStructureObservation*) zusammen zu bringen. Diese Informationen werden jeweils durch eigene Klassen verwaltet. Die Zuordnung von ROI, Kontur und Beobachtung erfolgt über die eindeutige ROI-Nummer (s. Kapitel 2.3.3.1).

Die Klasse *RTStructure* stellt Methoden zur Verfügung, um neue ROI-, Kontur- und Beobachtungsobjekte in sich aufzunehmen und auf diese unter Angabe der ROI-Nummer zuzugreifen. Des Weiteren werden in der *RTStructure* noch Name und Beschreibung des Structure Sets, die Zuordnung zu Serie und Studie (\rightarrow *UIDs*) und das *Frame of Reference* hinterlegt. Hierfür gibt es auch analoge Methoden, um diese zu Setzen bzw. Abzurufen.

3.4.2.5 RTStructureROI

Diese Klasse dient der Verwaltung der Informationen einer Structure Set ROI. Es werden Methoden für den Zugriff auf ROI-Name, ROI-Nummer, ROI-Beschreibung, *Frame of Reference* und den Erzeugungsalgorithmus der ROI bereitgestellt. Außerdem erfolgt noch eine Verknüpfung zu der *RTStructure*, in der die *RTStructureROI* enthalten ist.

3.4.2.6 RTStructureContour

Die Klasse *RTStructureContour* enthält die Information aus der *ROI Contour Sequence* des Structure Sets, wobei die eigentlichen Konturdaten und Bildverweise in *RTStructureContourItem*-Objekten gehalten werden. Diese wiederum werden in der entsprechenden *RTStructureContour* gespeichert. Außerdem hält die *RTStructureContour* noch die Farbe

der Kontur (bzw. ROI) und eine Referenz auf das zugeordnete *RTStructureROI*- und *RTStructure*-Objekt. Sollte im Structure Set keine Farbe hinterlegt worden sein, wird beim Aufruf der entsprechenden Getter-Methode eine zufällige Farbe erzeugt, gespeichert und zurückgegeben. Für jede Struktur (ROI) im Structure Set gibt es auch nur eine *RTStructureContour*.

3.4.2.7 RTStructureContourItem

Wie bereits erwähnt, werden in einem *RTStructureContourItem* die eigentlichen Konturpunkte für ein referenziertes Bild gespeichert. Daneben sind noch Informationen über den geometrischen Typ und die Anzahl der Konturpunkte in dem *RTStructureContourItem* hinterlegt. Die Zahl der Konturpunkte dient zur Kontrolle. Die Übereinstimmungsbestätigung erfolgt über die Anzahl der gespeicherten Koordinaten. Zusätzlich gibt es noch eine Referenz auf die *RTStructureContour*, in der sich das *RTStructureContourItem* befindet.

3.4.2.8 RTStructureObservation

Die Klasse *RTStructureObservation* dient dazu, die Informationen des *RT ROI Observations Module* (s. Kapitel 2.3.3.1) zu verwalten. Allerdings beschränkt sich die hier vorgenommene Implementierung nur auf einige wenige Attribute, die zur Interpretation einer ROI notwendig sind. Damit ist gemeint, dass alle Attribute des *RT ROI Observations Module* vom Typ 3 (z.B. das *ROI Observation Label* oder die *RT Related ROI Sequence*) nicht eingelesen werden. Die eingelesenen Attribute sind die Nummer der Beobachtung (*Observation Number*), das zugeordnete *RTStructureROI*-Objekt (\rightarrow *Referenced ROI Number*), der Name des Interpreters (sofern angegeben) und natürlich der Interpretationstyp (*Interpreted Type*). Außerdem wird noch das *RTStructure*-Objekt, zu dem die Beobachtung gehört, referenziert.

3.4.2.9 RTStructureImage

Ein *RTStructureImage*-Objekt speichert die Informationen der referenzierten Bilder in dem RT Structure Set. Diese sind notwendig für die Berechnung der Bildkoordinaten der einzelnen Konturpunkte (s. Kapitel 3.4.3). Hierbei handelt es sich um die genaue Bildposition (*ImagePositionPatient*), die Bildausrichtung (*ImageOrientationPatient*), den Pixelabstand (*PixelSpacing*) und die Schichtdicke (*SliceThickness*). Für die Bildzuordnung wird noch die *Referenced SOP Class UID*, die *Referenced SOP Instance UID* und die *Referenced Frame Number* gespeichert. Das *RTStructureImage* enthält des Weiteren die *Frame of Reference UID*.

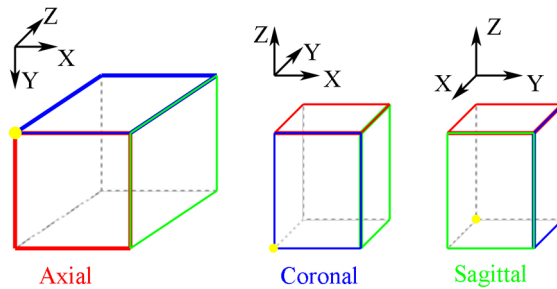


Abb. 3.6: Verschiebung des Koordinatenursprungs in den einzelnen Ansichten: Die einzelnen Ansichten werden durch 90°-Rotationen um den Ursprung (gelber Punkt) in einander transformiert. Dadurch liegt der Ursprung in Coronal- (blau) und Sagittalansicht (grün) nicht mehr oben links wie bei der Axialansicht (rot), sondern unten links.

3.4.3 Berechnung der Bildkoordinaten der darzustellenden Konturpunkte

Bei den Konturpunkte handelt es sich um deren Bildkoordinaten. Die Bestimmung der Koordinaten erfolgt mit dem in Kapitel 2.7.2 beschriebenen Verfahren. Für die Coronal- und Sagittalansicht gilt noch zu beachten, dass sich der Koordinatenursprung nicht mehr in der oberen linken Ecke, sondern in der unteren linken Ecke befindet (Abbildung 3.6). Dies ist auf die 90° Rotationen dieser Ansichten zur Axialansicht, welche die Ansicht ist, in der Schichtbilder akquiriert wurden, zurückzuführen. Daher sind die ermittelten Bildkoordinaten für diese Ansichten noch in y-Richtung zu „invertieren“, da der Bildursprung immer oben links liegt. Ansonsten würden die Konturen „auf dem Kopf“ stehen.

Nun müssen die Koordinaten skaliert und ggf. in den Bildursprung verschoben werden (Offset). Die Skalierung ist notwendig, da i.d.R. die Größe der Bilder nicht mit der Auflösung der Monitore bzw. dem dort zur Verfügung gestellten Anzeigebereich für die Bilder übereinstimmt. Daher werden die Bilddaten passend gestaucht bzw. gestreckt um den Anzeigebereich auszufüllen. Dies ist natürlich auch für die Konturen durchzuführen, damit diese weiterhin passend über die Bilddaten gelegt werden können. Außerdem spielt noch die Verschiebung von Bildursprung der einzelnen Schichtaufnahmen im Planungs-CT zum Ursprung des Patientenkoordinatensystems (s. Kapitel 2.3.2 *ImagePositionPatient*) eine Rolle. Bei der Berechnung der Bildkoordinaten (s. Kapitel 2.7.2) wird davon ausgegangen, dass Bild- und Patientenursprung identisch sind. Falls dem nicht so ist, müssen die Konturdaten noch um den entsprechenden Offset verschoben werden, damit Bild- und Konturkoordinaten einander entsprechen. Diese Aufgaben übernimmt der Client. Der Offset ergibt sich aus dem ermittelten und zurückgegebenen Bildursprung der Kontur vom *dicomrtviewer* und der *ImagePositionPatient* des Bildes vom MPR Creator. Der *dicomrt-*

3 Ergebnisse

viewer ermittelt den Bildursprung durch Multiplikation des unrotierten Bildursprungs der jeweiligen Ansicht mit der Transformationsmatrix (= Rotation des Bildursprungs). An den Client wird dieser als erste Koordinate noch vor den darzustellenden Konturdaten übermittelt. Die Skalierung auf die Bildkoordinaten erfolgt durch Division durch das *PixelSpacing* (s. Kapitel 2.3.2).

4 Diskussion und Ausblick

Die Strahlentherapie stellt eine wichtige Behandlungsmethode bei der Tumorbehandlung dar. Leider gibt es trotzdem Patienten, bei denen diese Therapieform nicht anschlägt. Aktuelles Ziel der Forschung ist, über die vergleichende Auswertung von Behandlungsplänen Rückschlüsse auf Ansätze zur Verbesserung von Tumorbehandlungen mittels Strahlentherapie zu erlangen. Insbesondere im Bereich der Schwerionentherapie steht die Forschung noch am Anfang. Hierbei handelt es sich um eine sehr neue Therapieform, mit der erst Mitte der 1990er Jahre erste Therapien durchgeführt wurden[9]. Um belastbare Ergebnisse aus dem Vergleich verschiedener Behandlungspläne erhalten zu können, ist eine möglichst umfangreiche Datenbasis wünschenswert, wie sie z.B. im Rahmen des ULICE-Projektes [18] zur Verfügung gestellt werden soll. Hierbei ist es geboten, allen Teilnehmern unmittelbaren Zugriff auf alle Daten einzuräumen.

Hierzu eignet sich insbesondere der Einsatz einer Telemedizinakte, wie sie u.a. auch von der Firma CHILI GmbH angeboten wird.

Ziel dieser Arbeit ist, die Konzeption und Entwicklung von Modulen zur Verwaltung und Visualisierung von DICOM RT Objekten, in denen für gewöhnlich Bestrahlungspläne gespeichert werden, im CHILI-PACS System. Zu Beginn stand die Analyse von Bestrahlungsplänen in Bezug auf die Informationsstruktur der Darstellung. Die Ergebnisse der Analyse wurden in einem Pflichtenheft spezifiziert. Des Weiteren war ein Konzept für die Umsetzung einer der Kernfunktionalitäten, die Darstellung des Dosis-Volumen-Histogramms (DVH), zu entwickeln. Eine vollständige Umsetzung war aufgrund der Komplexität und der begrenzten Zeit im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich. Da die korrekte Berücksichtigung der RT Structure Sets eine wesentliche Rolle bei der Berechnung der DVHs einnimmt, wurde die Realisierung auf diesen Aspekt beschränkt. Um nachweisen zu können, dass die interne Repräsentation der RT Structure Sets richtig ist, wurde die Darstellung dieser in den Bildansichten realisiert.

Da die Ermittlung der darzustellenden Konturdaten bzw. Datenangaben zur Dosisverteilung rechenintensiv sind, ist es erstrebenswert, diese nicht direkt beim Benutzer durchzuführen, sondern als Serverprozess auszulagern. Aus diesem Grund wurde das Client-Server-Konzept, wie es im CHILI-PACS bereits bei dem MPR Viewer verwendet wird, aufgegriffen und die Verwaltung der RT Daten von einem eigenen Serverprozess,

dem *dicomrtviewer*, übernommen. Die eigentliche Darstellung erfolgt dann auf dem Client im CHILI/Web.

Für die Verwaltung der RT Objekte hat sich die Frage gestellt, ob auf eine bestehende DICOM RT-Funktionsbibliothek zurückgegriffen werden kann. Die Recherche führte zu einer Erweiterung des OFFIS DICOM Toolkits (DCMTK), das als DCMRT-Modul noch in laufender Entwicklung steht. Mit der aktuellen DCMRT-Vorabversion (Version 3.5.5) konnten die Probleme beim Einlesen der Sequenzen in RT Structure Set Dateien leider nicht überwunden werden. Daher wurde auf einen Einsatz dieser Bibliothek verzichtet und eine eigene Implementierung für die Verwaltung von RT Structure Sets umgesetzt. Hierbei wurde gegen ein entsprechendes Interface (*RTStructureSetInterface*) implementiert, um so die Möglichkeit zu schaffen, die in dieser Arbeit vorgenommene Umsetzung später leicht gegen eine andere differenzierte Implementierung austauschen zu können. Ein Ersetzen mit einer (DICOM RT-)Bibliothek ist erstrebenswert, gerade weil solche Bibliotheken i.d.R. laufend angepasst und optimiert werden.

Die Idee des in dieser Arbeit verwendeten Konzeptes der Interfaces besteht darin, dass dem Serverprozess *dicomrtviewer* für jedes RT Objekt eine eigenes Interface zur Verfügung gestellt wird, über das er auf diese Objekte zugreifen kann. Damit soll ermöglicht werden, dass die jeweils verwendete Implementierung für die RT Objekte problemlos gegen eine andere Implementierung/Bibliothek ausgetauscht werden kann. Hierdurch muss der gesamte Serverprozess nicht jedes mal neu entwickelt werden.

Mit dieser Arbeit wurde ein Modul zur Verwaltung und Visualisierung von RT Structure Sets realisiert, das z.Z. aber noch nicht die *Frame of Reference Relationship Sequence* berücksichtigt. Diese Vereinfachung der Umsetzung wurde gewählt, um zunächst ein rudimentär funktionierendes Basissystem zu haben, welches das grundlegende Konzept veranschaulicht. Der Umfang des Basissystems soll danach in einzelnen Schritten vervollständigt werden.

Als Hauptaufgabe des RT Structure Set Moduls ist die Ermittlung der darzustellenden Konturpunkte zu nennen. Die Konturen werden nur in der unrotierten Axialansicht durch verbundene Linien dargestellt, da sie lediglich in dieser Ebene in der richtigen Reihenfolge vorliegen. Ansonsten werden die darzustellenden Konturpunkte als kleine Kreise eingezeichnet. Um die ermittelten Konturpunkte für alle Ansichten in der richtigen Reihenfolge vorliegen zu haben, müssen diese zuvor in ein Oberflächenmodell überführt werden. Die darzustellenden Konturpunkte ergeben sich dann durch Schneiden der einzelnen Flächen (Dreiecke) des Oberflächenmodells mit der Ansichtsebene. Die Überführung in ein Oberflächenmodell war jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

Da die Auszählung der Dosiswerte der einzelnen Pixel für das Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) in der axialen Ebene erfolgt, stellt dies kein größeres Problem für die Weiterentwicklung der RT Viewing Moduls dar. Die Konturlinien der Axialebene müssen virtuell hinterlegt werden und können dann beispielsweise per Scanline-Algorithmus [19] ausgewer-

tet werden. Lediglich für die optische Darstellung der Konturen ist die Punktdarstellung u.U. irritierend.

Durch die vorgenommene Implementierung konnte das Problem der Rotation noch nicht gelöst werden. Sobald nicht mehr um das Zentrum des Bilddatenwürfels oder um mehrere Achsen rotiert wird, laufen Bild- und Konturdaten auseinander bzw. sind teils auch spiegelverkehrt. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass sich die Verwaltung der Rotationswinkel im MPR Viewer von der in dieser Arbeit vorgenommenen Verwaltung im RT Viewer unterscheidet. Da eine eindeutige Beantwortung des Problems gegen Ende dieser Arbeit nicht mehr möglich war, muss versucht werden, dies im Rahmen der weiteren Umsetzung des DICOM RT Viewing Moduls zu klären.

Zur Unterscheidung der einzelnen Strukturen ist eine farbige Darstellung hilfreich. Meist ist das *ROI Display Color* Attribut, das die Farbe einer Struktur festlegt, durch das Planungssystem gesetzt. Da es sich hierbei um ein optionales Attribut handelt, wird die Farbe der Kontur ggf. intern zugewiesen. Dafür stehen 20 vordefinierte Farben in vordefinierter Reihenfolge zur Verfügung.

Für die Darstellung der ermittelten Konturdaten auf Clientseite bietet es sich an, auf dem *MPR Viewing Modul* des CHILI/Webs aufzubauen, da es bereits die Bilddaten für verschiedene Ansichten erzeugen und darstellen kann. Außerdem war es hiermit möglich durch den Bilddatensatz in den entsprechenden Ansichten zu navigieren. Aus diesem Grund fungiert der *MPRViewer* auch als Schaltzentrale für die Darstellung von RT Daten, zumal auf die bereits bestehende Bildanzeigefunktionalität zurückgegriffen werden kann und nicht erneut implementiert werden muss.

Je nach Aufruf des *MPRViewers* werden RT spezifische Daten angezeigt oder nicht. Für die eigentliche Darstellung der RT spezifischen Daten (Structure Sets, Dosisverteilung) wurde eine neue Komponente eingeführt (*RTImageViewer*), die von der bestehenden Komponente für die Darstellung der multiplanaren Rekonstruktionen (*MPRImageViewer*) erbt. Hierdurch kann auf die Bilddaten, welche vom Serverprozess des MPR Viewers (*mprcreator*) erzeugt wurden, zurückgegriffen werden und leicht mit den Konturpunkten überlagert werden. Weitere RT spezifische Überlagerungen der Bilddaten (z.B. Dosisverteilung) lassen sich so zukünftig einfach in der Zeichenmethode der neu entwickelten Komponente für die Darstellung RT spezifischer Daten (*RTImageViews*) integrieren. Dadurch ist eine klare Trennung für die Darstellung von RT spezifischen Informationen und der Darstellung der Bildinformationen gegeben. Voraussetzung für die korrekte Überlagerung ist, dass die vom Serverprozess zurückgelieferten RT Daten in Patientenkoordinaten vorliegen und dann im *RTImageViewer* passend skaliert und ggf. noch verschoben (Offset) werden. Die Werte für die Skalierung und die Berücksichtigung des Offsets ergeben sich aus den vom *mprcreator* erzeugten Bilddaten. Dies stellt sicher, dass die Konturdaten immer passend mit den Bilddaten in Übereinstimmung gebracht werden.

Für die Steuerung bzw. Verwaltung der RT Informationen ist das Kontrollpanel des MPR Viewers um Register für die einzelnen RT Objekte erweitert worden (derzeit nur für die RT Structure Sets). Dadurch ist ein leichter und übersichtlicher Zugriff auf die einzelnen Informationen der RT Objekte möglich. Das mit dieser Arbeit eingeführte *ROI Panel* zur An- und Abwahl von Strukturen soll dies nur exemplarisch veranschaulichen. Die Kommunikation mit dem neuen Serverprozess für die DICOM RT Dateien (*dicomrtviewer*) erfolgt wie die Kommunikation des MPR Viewers über das *ImageFunctionServlet*. Damit der Informationsfluss zwischen Client und Server auch für die RT Daten funktioniert, wurde noch ein spezieller Loader und ein Wrapper für die DICOM RT Daten neu entwickelt. Diese können dann leicht für die Übermittlung weiterer RT Objekte erweitert werden.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass mittels dieser Arbeit ein grundlegendes Konzept für die Erweiterung des CHILI-PACS-System um die Darstellung von DICOM RT Objekten erarbeitet wurde. Dies kann anhand eines Moduls für RT Structure Set Objekte nachvollzogen werden, mit dem es möglich ist, sich die segmentierten Strukturen des RT Structure Sets anzeigen zu lassen oder beliebig zu deaktivieren. Bei diesem Modul ist zu beachten, dass es bei weitem noch nicht vollständig vorliegt und nicht alle im DICOM Standard beschriebene Funktionen unterstützt.

Andere DICOM RT Objekte können analog zum Konzept dieser Arbeit durch entsprechende Module ins CHILI-PACS integriert werden. Hierdurch eröffnet sich die Möglichkeit, Informationen zu Therapieplänen mittel CHILI-PACS ungehindert abzufragen. Der Einsatz dieses Systems ermöglicht dann die Auswertung bzw. den Vergleich von Therapieplänen im Rahmen von größeren Forschungsprojekten, wie z.B. dem vorgestellten ULICE-Projekt.

A Pflichtenheft



CHILI®
Digital Radiology

CHILI® PACS

DICOM RT Viewer

Pflichtenheft | Version 0.3

Hersteller



CHILI GmbH

Burgstrasse 61

D-69121 Heidelberg

Tel. (+49) 6221 - 1 80 79 -10

Fax (+49) 6221 - 1 80 79 -11

Hotline: (+49) 6221 - 1 80 79 -20

E-Mail: hotchili@chili-radiology.com

Internet: www.chili-radiology.com

Stand des Handbuchs: Juni 2010

CHILI PACS Version 4

Pflichtenheft Version 0.3



© 2003–2010 CHILI GmbH

CHILI® und die hier dargestellte Chili-Schote sind eingetragene Wort- und Bildmarken der CHILI GmbH.

Die Autoren behalten sich das Recht vor, Änderungen jederzeit ohne Ankündigung vorzunehmen. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung, bleiben vorbehalten. Kein Teil der Software, bzw. des Benutzerhandbuchs darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung der Autoren reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Rahmenbedingungen.....	2
1.2.1	Titel.....	2
1.2.2	Kurzbeschreibung.....	3
2	IST-Analyse	5
2.1	Vorhandene Funktionen CHILI/WEB.....	5
2.2	Vorhandene Funktionen Serverapplikation.....	5
2.3	Terminologie	6
3	Sollkonzept	9
3.1	Systemziele	9
3.2	Benutzer.....	10
3.3	Entwicklungsumgebung	10
3.3.1	Server	10
3.3.2	Clients.....	10
3.3.3	Verwendete Programmiersprachen	10
3.3.4	Sonstiges.....	11
3.4	Geforderte Funktionalität.....	11
3.4.1	Generelles.....	11
3.4.1.1	Darstellung der Bilddaten	11
3.4.1.2	Fensterung	11
3.4.1.3	Zoom	11
3.4.1.4	Kachelung	12
3.4.1.5	Anzeige von Patienten-/Bestrahlungsdaten	12
3.4.2	StructureSets	12
3.4.2.1	Anzeige von StructureSets	12
3.4.2.2	Struktur(en) einzeln aktivierbar	13
3.4.2.3	Verschiedenfarbige Darstellung von Strukturen ...	13

3.4.3	Dosis Anzeige	13
3.4.3.1	Anzeige von Isodosen	13
3.4.3.2	Umschaltung zwischen relativen und absoluten Isodosen	13
3.4.3.3	Isodosen einzeln aktivierbar	13
3.4.3.4	Verschiedenfarbige Darstellung für Isodosen	13
3.4.3.5	Colorwash-Darstellung	14
3.4.3.6	Anzeige von Floating Dose Points	14
3.4.3.7	Dosis-Volumen-Histogramm (DVH)	14
3.5	Benutzeroberfläche	14
3.6	Test.	14
3.7	Abgrenzung	14
3.8	Erweiterungsmöglichkeiten	15
4	Projektplanung	17
4.1	Ist-Analyse	17
4.2	Entwicklungskonzept erstellen	17
4.3	Pflichtenheft schreiben	18
4.4	Implementierung.	18
4.5	Tests und Validierung.	18
4.6	Anpassen der Implementierung	18
4.7	Dokumentation	19
4.8	Abnahme durch Projektleitung.	19
5	Freigabe	21

1 Einführung

Ein DICOM RT Viewer ist eine Software zur Anzeige von Bestrahlungs- und Therapieplänen, die im DICOM RT Format gespeichert wurden. Unter anderem sind darin die relevanten Strukturen (Risikoorgane und Zielvolumen), die Dosisverteilung und die eigentlichen Geräteeinstellungen für die Bestrahlung (Behandlungsplan) gespeichert. Die ursprünglichen CT- bzw. MRT-Bilder werden mit den jeweils gewünschten Informationen überlagert. Die jeweiligen Zielvolumen und Risikoorgane werden farblich hervorgehoben, wobei diese nach belieben des Anwenders einzeln an- und abwählbar - also angezeigt werden oder nicht - sind. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die verwendeten Strahlenfelder und die dadurch erzeugte Strahlenbelastung der einzelnen Regionen anzuzeigen. Dabei werden verschiedene Isodosen (Bereiche mit gleicher Strahlenbelastung) in unterschiedlichen Farben dargestellt. Außerdem kann ein Dosis-Volumen-Histogramm berechnet werden, welches angibt, wie groß das Teilvolumen der einzelnen Organe unter einer bestimmten Strahlenbelastung ist. Dies ist unter anderem für die Beurteilung des Bestrahlungsplans wichtig.

1.1 Motivation

Um an diese Informationen zu gelangen ist es notwendig Zugriff auf einen Rechner mit entsprechend installierter Anwendung zu haben. Da diese in den meisten Gesundheitseinrichtungen nur in beschränkter Anzahl vorhanden sind, wächst der Wunsch nach einem webbasierten Zugriff auf Informationen zu Bestrahlungsplänen (z.B. in einer Telemedizinakte), damit behandelnde Ärzte diese Daten di-

rekt an ihrem Arbeitsplatz einsehen können und nicht erst den Arbeitsplatz wechseln müssen.

Das von der Firma CHILI GmbH angebotene CHILI/WEB ist eine Komponente zur Darstellung von medizinischen Bildern. Bisher bietet es nur die Möglichkeit zur Darstellung von DICOM-Daten ohne die DICOM RT-Objekte. Eine Erweiterung von CHILI/WEB um die Darstellung von DICOM RT Objekten (RTStructureSet, RTDose, RTPlan) wird dafür sorgen, dass Bestrahlungsinformationen leicht „überall“ abrufbar sind.

1.2 Rahmenbedingungen

Die Erweiterung der Funktionalität von CHILI/WEB um die Darstellung von DICOM RT Daten für die CHILI GmbH findet im Rahmen einer Bachelorarbeit statt. Die Prüfungsleistung dieser Arbeit ist Teil des Curriculums Medizinische Informatik der Universität Heidelberg und der Hochschule Heilbronn und ist im Studium mit einem Umfang von 360 Stunden vorgesehen.

Referenten

Prof. Dr. Rolf Bendl

Dr. Uwe Engelmann

Technische Betreuer

Andre Schröter

Dr. Heiko Münch

Bachelorand

Sven Siekmann

Medizinische Informatik

Universität Heidelberg / HS Heilbronn

1.2.1 Titel

Konzeption und Entwicklung von Modulen zur Verwaltung und Visualisierung von DICOM RT Objekten im CHILI-PACS-System.

1.2.2 Kurzbeschreibung

Als Grundlage soll das bestehende CHILI/WEB dienen. Es soll zunächst um die Darstellung der RTStructureSets erweitert werden. Dafür werden serverseitig neue Strukturen entstehen, die der Haltung und Verwaltung der Informationen dienen. Per CHILI/WEB können dann einzelne Strukturen gezielt abgerufen und dargestellt werden. Die Serverapplikation überführt die StructureSets in eine interne Struktur und berechnet 3D Volumen für die einzelnen Region of Interests (ROIs).

Der Abruf der gewünschten Information (z.B. Name von Strukturen, Ausdehnung/Lage, etc.), erfolgt über eine neu zu definierende Schnittstelle. Die Zusammenführung von Bilddaten und ROI-Volumen geschieht über die Koordinatensysteme und wird durch eine Überlagerung der Daten auf dem Client angezeigt. Bei der Implementierung auf der Clientseite kann schon auf bestehende CHILI Komponenten zurückgegriffen werden (z.B. Overlay).

Nach der Realisierung der Darstellung der StructureSets soll die DICOM Komponente RTDose im zweiten Schritt umgesetzt werden, welches mit den StructureSets die Grundlage für das Dosis-Volumen-Histogramm und den Bestrahlungsplan darstellt. Diese Aufgabe ist allerdings nicht Gegenstand dieser Bachelorarbeit.

Bei der Dosisanzeige soll es dem Anwender möglich sein zwischen relativen und absoluten Isodosen umzuschalten und einzelne Isodosen zu- bzw. abzuschalten. Des Weiteren sollen die einzelnen Isodosen durch eine unterschiedliche Farbcodierung dargestellt werden. Bei der Darstellung soll zwischen „Isolinien“ und „Colorwash“ gewählt werden können. Eine Floating Dose Point Darstellung soll für den Punkt an dem sich der Mauszeiger befindet den jeweiligen Dosiswert in einem Tooltip anzeigen. Die Dosis bzw. Dosisanteile in den einzelnen Strukturen soll schließlich in einem Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) angezeigt werden, damit der Anwender einzelne Pläne besser beurteilen kann.

2 IST-Analyse

Es folgt eine kurze Zusammenfassung der vorhandenen Funktionalität, welche für die Erweiterung der Software von Bedeutung sind.

2.1 Vorhandene Funktionen CHILI/WEB

Das CHILI/WEB bietet momentan schon die Möglichkeit der Anzeige von CT/MR-Bildern und der Darstellung dieser als Multiplanare-Rekonstruktion (MPR). Bei letzterer gibt es zudem die Möglichkeit, sich zu einer gewählten Ansicht (transversal, sagittal, coronal) ein neues Bild bzw. eine komplette Bildserie zu generieren. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit der Fensterung. Diese erfolgt mittels Regler für Level und Window. Eine Anzeige von Overlays ist ebenfalls möglich. Dabei stehen die Arten „Text“, „Messungen“, „Messwerte“, „Maßstab“, „Richtungsangaben“ und „DICOM-Overlay“ einzeln zur An- und Abwahl bereit. Für die Zoom-Funktionalität gibt es einmal das stufenlose Zoomen und die Lupen-Funktion für den aktuellen Bereich um die Mausposition. Weitere existierende Funktionalitäten sind die Möglichkeit Strecken, Winkel und Volumen zu vermessen, Bilder in den Schichten zu verschieben, (in der angezeigten Ebene) zu drehen, zu spiegeln und zu invertieren.

2.2 Vorhandene Funktionen Serverapplikation

Für die Serverapplikation gibt es bereits Methoden, die das Auslesen von DICOM-Tags erlauben. Zudem gibt es Strukturen für die Information Entities „Patient“, „Study“, „Series“ und „Image“. Die mathe-

matischen Funktionen für Matrizenmultiplikationen etc. sind ebenfalls vorhanden. Weiterhin gibt es Funktionen zur Erzeugung und Verwaltung von 3D-Volumen für den kompletten Bilddatensatz. Auf Funktionen zur Kommunikation per Standard-Input und Standard-Out zum Client zwecks Informations- und/oder Befehlsaustausch kann ebenso zurückgegriffen werden, wie auch auf Funktionen zum Datenaustausch über Shared Memory.

2.3 Terminologie

Name	Erläuterung
Clinical-Target-Volume (CTV)	Das klinische Zielvolumen enthält die im CT/MRT erkennbare Tumormasse (GTV) inkl. suspekter Bereiche, einen Sicherheitsraum zur Erfassung subklinischer Metastasen
Colorwash	Falschfarbendarstellung der Dosis, die über CT-Daten gelegt werden
CT	Computer-Tomographie ist ein schnittbildgebendes Verfahren, welches mittels Röntgenstrahlung aus verschiedenen Richtungen versucht eine 3D-Darstellung eines Objektes zu erzeugen. Dies geschieht auf Basis einer Reihe von mehreren 2D Röntgenaufnahmen in verschiedenen Ebenen
CHILI/Admin	Webbasierte Anwendung zur Konfiguration
CHILI/Telemedizinakte	Webbasierte Portallösung zur verteilten Patientenakte
CHILI/WEB	Webbasierte und plattformunabhängige Betrachtungs- und Telekonferenz-Software mit Bildverarbeitungsfunktionen.
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i> ist ein offener Standard in der Medizin zum Austausch von Bilddaten. DICOM standardisiert sowohl das Format zur Speicherung, als auch das Protokoll zum Austausch.
DICOM RT	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine Radio Therapy</i> ist eine Erweiterung des DICOM Standards um Informationen zur Bestrahlungsplanung (Segmentierung, Dosisverteilung, Therapieplan etc.)
Dosis-Volumen-Histogramm (DVH)	Ein Dosis-Volumen-Histogramm stellt dar, wie viel des Volumens (eines Risikoorgans oder Zielvolumens) mit welcher Strahlendosis bestrahlt wird (x-Achse: Strahlendosis, y-Achse Volumenanteil).
Gantry	Strahlführungssystem für Bestrahlung
Gross-Tumor-Volume (GTV)	Der grob zu tastende oder sichtbare Bereich bösartigen Wachstums (Tumor).

Name	Erläuterung
Information Entity	Im DICOM Standard sind alle Bild Informationen z.B. Patient oder Serie in sogenannten Information Entities(IE) eingeteilt. Eine IE ist wiederum in ein oder mehrere Module unterteilt. Die einzelnen Informationen in den Modulen heißen Attribute. Jedes dieser Attribute besitzt einen eindeutigen "Tag", der durch zwei Hexadezimalzahlen ausgedrückt wird.
Isodosen	Isodosen in einem Strahlungsfeld sind Linien gleicher (Energie- o. Ionen-) Dosis in einer Ebene
JavaServerPages (JSP)	Von Sun Microsystems entwickelte Technologie um dynamische Webseiten mit Java zu erzeugen
JavaServer Faces (JSF)	Ein Framework zum einfachen entwickeln von HTML-Seiten durch einbinden bereits definierter Komponenten
Kollimator	Gerät zur Erzeugung eines parallelen Strahlenverlaufs bzw. Strahlenfeldes.
MRT	Ein bildgebendes Verfahren, das vor allem in der medizinischen Diagnostik zur Darstellung von Struktur und Funktion der Gewebe und Organe im Körper eingesetzt wird. Es basiert physikalisch auf den Prinzipien der Kernspinresonanzspektroskopie.
Planning-Target-Volume (PTV)	Das Planungszielvolumen umschließt das CTV und berücksichtigt zusätzlich noch die geometrische Unsicherheit durch Organ- bzw. Patientenbewegung und die Ungenauigkeit der Einstellung selbst
Shared Memory	Shared Memory bezeichnet eine bestimmte Art der Interprozesskommunikation (IPC). Bei dieser Art nutzen zwei oder mehrere Prozesse einen bestimmten Teil des Hintergrundspeichers gemeinsam. Für alle beteiligten Prozesse liegt dieser gemeinsam genutzte Speicherbereich in deren Adressraum und kann mit normalen Speicherzugriffsoperationen ausgelesen und verändert werden.
StructureSet	In einem StructureSet werden die Informationen zu einer Struktur (z.B. Kontur) im CT-Bild hinterlegt. Die Strukturen (Risikoorgane und Zielvolumen) müssen zuvor segmentiert worden sein.

3 Sollkonzept

In diesem Kapitel wird die Funktionalität des Systems vorgestellt, wie es aussehen soll und wie der Benutzer mit ihm interagieren kann. Es wird auf Erweiterungsmöglichkeiten, die an dem Programm vorgenommen werden können und auf Beschränkungen eingegangen.

3.1 Systemziele

Die folgenden allgemeinen Anforderungen soll das System erfüllen:

1. Darstellung von Strukturen

Die in den StructureSets festgelegten Strukturen sollen nach den Wünschen des Anwenders entsprechend über die Bilddaten (zunächst nur Transversal-Ansicht) gelegt und angezeigt werden. Dabei sind für verschiedene Strukturen auch verschiedene Farbcodierungen zu verwenden. Zielvolumen und Risikoorgane werden zu Beginn alle angezeigt, können aber vom Anwender einzeln ausgeblendet bzw. wieder eingeblendet werden.

2. Darstellung von Daten zur Bildserie

Zu jedem Bild sollen zusätzlich die folgenden Daten standardmäßig eingeblendet werden: Patientennamen, Datum der Untersuchung, Planname, Orientierung

3. Dosisanzeige

Es sollen die gewünschten Isodosen (einzeln zu-/abschaltbar) angezeigt werden. Die verschiedenen Isodosen sollen dabei verschiedenfarbig codiert dargestellt werden. Außerdem soll der Anwender zwischen relativer und absoluter Isodosisdarstellung

umschalten können und auch zwischen der Darstellung als „Colorwash“ und „Isolinie“.

4. Dosis-Volumen-Histogramm (DVH)

Dem Anwender soll es möglich sein sich ein Dosis-Volumen-Histogramm anzeigen zu lassen. Dieses soll automatisch angezeigt werden, sobald die es der Benutzer angefordert.

3.2 Benutzer

Das zu entwickelnde System soll ein webbasiertes Programm sein, welches vollständig in CHILI/WEB bzw. in der CHILI/Telemedizinakte integriert wird und mit jedem gängigen Browser bedienbar sein soll. Es kann ausschließlich von in CHILI/Admin registrierten Anwendern mit dem nötigen Recht genutzt werden.

3.3 Entwicklungsumgebung

3.3.1 Server

- Suse Linux Enterprise Server 10
- PostgreSQL 8.1
- Apache Tomcat 5
- Java 1.4

3.3.2 Clients

Webbrowser mit JavaScript-Unterstützung und installierter JRE (Java Runtime Environment) mit entsprechendem Browser-Plugin und akzeptieren von Cookies.

3.3.3 Verwendete Programmiersprachen

Das neue System soll mit Java in Version 1.4 realisiert werden. Als Programmiersprache zum Erstellen und Anpassen der Weboberflä-

che soll JSP und JSF verwendet werden. Die serverseitigen Komponenten werden in C/C++ geschrieben.

3.3.4 Sonstiges

Als Grundlage für das zu entwickelnde System soll das bereits vorhandene CHILI/WEB verwendet werden, da dieses schon einige der benötigten Funktionalitäten bietet. Diese Funktionalitäten sollen übernommen und so angepasst werden, dass auch RT-Daten angezeigt werden können, wenn diese in dem Datensatz vorhanden sind.

Die fehlenden Funktionen sollen so implementiert werden, dass sie gegebenenfalls ohne großen Programmieraufwand in die Telemedizinakte integrierbar sind.

3.4 Geforderte Funktionalität

3.4.1 Generelles

3.4.1.1 Darstellung der Bilddaten

Die zugrunde liegenden Bilddaten (CT, MRT) sollen dargestellt werden.

3.4.1.2 Fensterung

Mit Hilfe der Fensterung soll es dem Benutzer möglich sein, das dargestellte Grauwertfenster eines Bildes zu ändern. Neben der variablen Einstellmöglichkeit sollen dem Benutzer auch einige voreingestellte Fensterungen für gewisse Modalitäten angeboten werden.

3.4.1.3 Zoom

Es soll dem Benutzer in der jeweiligen Bildebene möglich sein, den Bildausschnitt zu verkleinern und zu vergrößern. Dies soll sowohl flexibel per Maus für einen Bildausschnitt möglich sein, als auch mit vorgegebenen Zoomstufen.

3.4.1.4 Kachelung

Zu Beginn soll es nur eine 1x1-Kachel geben, welche die Transversal-Schicht darstellt. In einem späteren Release soll es dann eine 2x2-Kachelung geben, in der beliebig die Transversal-, Sagittal- (berechnet aus Bilddaten) und Coronal-Schicht (berechnet aus Bilddaten); eine Tabelle mit Bestrahlungsinformationen oder das Dosis-Volumen-Histogramm, etc. kombiniert werden können.

3.4.1.5 Anzeige von Patienten-/Bestrahlungsdaten

Aus der DICOM-Datei sollen folgende Daten über das Bild gelegt werden:

- Patientennamen + Geburtsdatum
- Datum der Bildgebung
- Planname
- Orientierung ([L], [R], [A], [P])
- Gerätenamen der Modalität, mit der Bilddaten aufgenommen wurden

Zusätzliche Informationen zum Bestrahlungsplan (z.B. Anzahl der Felder, Einstrahlrichtung, etc.) werden nicht über das Bild gelegt, sondern extra angezeigt. Dies erfolgt im Rahmen dieser Bachelorarbeit voraussichtlich höchstens durch Anzeige in einer Tabelle.

3.4.2 StructureSets

3.4.2.1 Anzeige von StructureSets

Es soll möglich sein, dass Strukturen als Overlay über die Bilddaten gelegt werden. Als Grundlage für die Überlagerung dient die Transversal-Schicht. Zielvolumina (mit CTV/GTV/PTV-Tag) und Risikoorgane sollen zunächst alle angezeigt werden. Je nach Wunsch des Anwenders können diese einzeln deaktiviert bzw. später aktiviert werden (siehe 3.4.2.2).

3.4.2.2 Struktur(en) einzeln aktivierbar

Die Anzeige einzelner Strukturen soll über eine Liste (z.B. Kontextmenü bzw. Liste am Rand) an- und abwählbar sein. Nur die ausgewählten Strukturen werden angezeigt. Die Anzeige der einzelnen Strukturen soll beliebig möglich sein.

3.4.2.3 Verschiedenfarbige Darstellung von Strukturen

Einzelnen Strukturen sollen unterschiedliche Farben und Labels zugewiesen werden. Dabei sollen die in den RT-Daten hinterlegten Farben verwendet werden, falls diese definiert sind. Sonst werden diese serverseitig festgelegt.

3.4.3 Dosis Anzeige

3.4.3.1 Anzeige von Isodosen

Es sollen einzelne Isodosen als Overlay über die Bilddaten gelegt werden. Als Standard-Isodosen sind die 10%, 30%, 50%, 70%, 80%, 90%, 95%, 107% Isodosen vorgegeben.

3.4.3.2 Umschaltung zwischen relativen und absoluten Isodosen

Dem Benutzer soll die Möglichkeit gegeben werden, zwischen relativen und absoluten Isodosen umzuschalten. Bei relativen Isodosen wird der in den RT-Daten festgelegte Normierungswert genommen. Dieser kann nicht verändert werden, da dies einer Planänderung entsprechen würde.

3.4.3.3 Isodosen einzeln aktivierbar

Der Benutzer soll beliebig einzelne Isodosen aus einer Liste aktivieren und kombinieren können. Zu Beginn werden alle Standardisodosen (siehe 3.4.3.1) angezeigt.

3.4.3.4 Verschiedenfarbige Darstellung für Isodosen

Die einzelnen Isodosen sollen jeweils mit unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Es ist darauf zu achten, dass diese bei absoluter und relativer Isodosisanzeige nicht identisch sind.

3.4.3.5 Colorwash-Darstellung

Es soll für den Benutzer die Möglichkeit geben bei der Darstellung der Dosis zwischen reinen Isolinien und Colorwash umzuschalten.

3.4.3.6 Anzeige von Floating Dose Points

Die Dosis soll an einem Ort/Pixel (Position der Maus) als Tooltip angezeigt werden.

3.4.3.7 Dosis-Volumen-Histogramm (DVH)

Dem Anwender soll es möglich sein, sich ein Dosis-Volumen-Histogramm (DVH) anzeigen zu lassen. Dieses soll automatisch angezeigt werden, sobald die Dosisanzeige durch den Benutzer angefordert wird. Die Berechnung und Darstellung des DVH erfolgt jeweils nur für die jeweils angewählten Strukturen.

3.5 Benutzeroberfläche

Das Layout der Benutzeroberfläche soll dem Styleguide des CHILI/WEB folgen.

3.6 Test

Alle Tests die vor, während und nach der Entwicklung des neuen Systems durchgeführt werden, sind nach Verfahrensanweisung B5 der CHILI GmbH geeignet zu dokumentieren.

3.7 Abgrenzung

Bei dem zu entwickelnden System handelt es sich nur um einen Viewer. Er soll dem Benutzer die Möglichkeit geben, sich existierende Informationen zu eingezeichneten Strukturen und applizierten Dosen im Datensatz anzeigen zu lassen und die Wahl zu geben, welche Infor-

mationen angezeigt werden sollen. Die An- und Abwahl soll der Benutzer mittels der graphischen Benutzeroberfläche ähnlich des CHI-LI/WEB vornehmen können.

Es wird keine Funktionalität implementiert, die es ermöglicht bestehende Daten zu verändern oder neu zu setzen (Keine Bestrahlungsplanung).

3.8 Erweiterungsmöglichkeiten

3

Es soll möglichst einfach sein, das System zu erweitern. Dies sollte bei der Entwicklung des Systems berücksichtigt werden. Nachfolgend sind einige Punkte aufgeführt, die in späteren Versionen als Erweiterung für das System möglich wären. Es handelt sich dabei lediglich um Vorschläge, die in späteren Projekten realisiert werden können, aber nicht Teil dieses Projektes sind.

- **Anzeige des Bestrahlungsplans**

Anzeige der verschiedenen Strahlen mit ihrer jeweiligen Energie, Gantry-, Kollimator-, und Tischwinkelstellung. Diese wird zunächst nur mit einer Tabelle realisiert.

- **Vergleichsansicht**

Anzeige eines zweiten Behandlungs-/Bestrahlungsplans zwecks direktem Vergleich beider.

4 Projektplanung

4.1 Ist-Analyse

Aktivitäten:

- Funktionsumfang der CHILI/Telemedizinakte analysieren
- Funktionsumfang von CHILI/WEB analysieren
- Einarbeitung in DICOM RT
- Einarbeitung in die Entwicklungsumgebung

Dauer: 1 Woche

4.2 Entwicklungskonzept erstellen

Aktivitäten:

- Fehlende Funktionen des Systems ermitteln
- Brainstorming bzgl. neuer Funktionalitäten und zusammenfassen aller benötigten Funktionen
- Definition neuer benötigter Strukturen und Schnittstellen

Dauer: 1 Woche

4.3 Pflichtenheft schreiben

Aktivitäten:

- Zusammenfassen aller ermittelten Ergebnisse
- Schreiben des Pflichtenheftes inkl. Meilensteinplanung

Dauer: 2-3 Tage

4.4 Implementierung

Aktivitäten:

- Änderung/Erweiterung bestehender Funktionen aus CHILI/WEB
- Entwickeln der neuen Funktionen

Dauer: 8 Wochen

4.5 Tests und Validierung

Aktivitäten:

- Test der Änderungen / Erweiterungen
- Test der Neuentwicklungen
- Installation im betrieblichen Umfeld und Testlauf

Dauer: 1 Woche

4.6 Anpassen der Implementierung

Aktivitäten:

- Mögliche Anpassung und Beseitigung aufgetretener Fehler
- Anpassungen bzgl. Funktionsumfang

- Testen der Änderungen / Neuerungen

Dauer: 2-3 Tage

4.7 Dokumentation

Aktivitäten:

- Benutzerhandbuch zum System schreiben
- Bachelorarbeit schreiben

Dauer: 4 Wochen

4.8 Abnahme durch Projektleitung

Aktivitäten:

- Validierung und Verifizierung

Dauer: 1- 2 Tage

5 Freigabe

5

Die Unterzeichner erklären mit ihrer Unterschrift, dass sie dieses Pflichtenheft abgenommen und freigegeben haben.

Heidelberg, den
A. Schröter, Technischer Leiter

Heidelberg, den
Dr. H. Münch, Entwicklungsleiter

B Testfälle

Erstellt: Sven Siekmann

Version: 1.0

Geprüft:

Datum: 2010-09-06

Freigegeben:

E:yy-G:zz-F:UE-2010-xx-xx

Software-Test DICOM RT Viewer

Geltungsbereich: CHILI GmbH

Software-Test DICOM RT Viewer

Testbilder sind unter G:\dicom\Testdaten-RT zu finden

Softwarebezeichnung		
Version		
	Testperson 1	Testperson 2
Name		
Namenskürzel (NK)		
Hostname		
Betriebssystem, Version		

Testperson 1

Datum:

Unterschrift:

Testperson 2

Datum:

Unterschrift:

1. Structure Set

Test	Bemerkungen	Ergebnis Testperson			Ticket	Ergebnis Re-Test	
		NK	✓	✗		NK	✓
Structure Set laden							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „Tatue2002000.ctx“ oder „P5_CT1000.ctx“						
Dargestellte Strukturen überprüfen	Werden alle Strukturen angezeigt und liegen diese passend über den Bilddaten						
Ebenen verschieben							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „Tatue2002000.ctx“ oder „P5_CT1000.ctx“						
Ebenen in den einzelnen Ansichten verschieben							
Überprüfung der passenden Überlagerung von Kontur- und Bilddaten							
An- und Abwahl von Strukturen							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „Tatue2002000.ctx“ oder „P5_CT1000.ctx“						
Deselektieren aller Strukturen im ROI-Panel							
Überprüfung, dass keine Strukturen mehr angezeigt werden							
Einzelne Strukturen nacheinander wieder im ROI-Panel aktivieren und Darstellungsergebnis überprüfen							
Farbe ändern							

1. Structure Set

Test	Bemerkungen	Ergebnis Testperson			Ticket	Ergebnis Re-Test	
		NK	✓	✗		NK	✓
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „Tatue2002000.ctx“ oder „P5_CT1000.ctx“						
Aufruf des Farbwählers durch Anklicken der Farbfläche einer aktivierten Kontur (am besten Außenkontur)							
Auswählen einer anderen Farbe und bestätigen dieser	Kontur sollte jetzt in dieser Farbe dargestellt werden						
Abbruch Farbe ändern							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „Tatue2002000.ctx“ oder „P5_CT1000.ctx“						
Aufruf des Farbwählers durch Anklicken der Farbfläche einer aktivierten Kontur (am besten Außenkontur)							
Abbruch des Dialogs durch Klicken auf die Abbruch-Taste	Kontur sollte Farbe beibehalten haben						
Bildserie ohne RT Daten laden							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie ohne RT Structure Set auswählen	Bildserie „Hals KM 3.0 H40s mittel“						
Überprüfung Anzeige Bilddaten und Strukturen im ROI-Panel	Bilddaten sollen angezeigt werden und im ROI-Panel muss „Keine Strukturen vorhanden!“ erscheinen						
Wechsel zwischen RT Serien							
Zur MPR Ansicht wechseln und Bildserie mit RT Structure Set auswählen	Bildserie „TaTue2002000.ctx“						

1. Structure Set

Test	Bemerkungen	Ergebnis Testperson			Ticket	Ergebnis Re-Test	
		NK	✓	✗		NK	✓
Auswahl einer anderen Bildserie mit RT Structure Set	Bilddaten „P5_CT1000.ctx“						
Überprüfung der angezeigten Konturen	Bild- und Konturdaten müssen übereinander liegen						

Hinweis: Bitte Test nach Durchführung auf der ersten Seite unterschreiben.

C Literaturverzeichnis

- [1] BAXTER, B. S. ; HITCHNER, L. E. ; MAGUIRE JR., G. Q.: A Standard Format for Digital Image Exchange / American Association of Physicists in Medicine. Version: 1982. http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_10.pdf. 1982 (10). – Report
- [2] BENDL, R.: *Therapiesysteme Teil 1: Strahlentherapie*. Skript, 06 2010
- [3] CHILI GMBH: *CHILI/Web Produktbeschreibung*. Burgstr. 61, 69121 Heidelberg - Germany : Prospekt, 05 2010
- [4] DREYER, K. J. ; HIRSCHORN, D. S. ; THRALL, J. H. ; MEHTA, A.: *PACS*. Second Edition. Springer New York, 2006. – ISBN 978-0-387-26010-5
- [5] FETTKE, P.: *Client-Server-Architektur*. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/is-management/Systementwicklung/Softwarearchitektur/Architekturparadigmen/Client-Server-Architektur>. Version: 2008. – [Online; Stand 25.07.2010]
- [6] FOLEY, J. D. ; DAM, A. van ; FEINER, S. K. ; HUGHES, J. F.: *Computer Graphics: Principles and Practice in C (2nd Edition)*. Addison-Wesley Professional, 1995. – ISBN 0201848406
- [7] FREEMAN, E. ; FREEMAN, E. ; SIERRA, K. ; BATES, B.: *Entwurfsmuster von Kopf bis Fuß*. 1., 4., korr. Nachdr. O'Reilly, 2008. – ISBN 978-3-89721-421-7
- [8] FURLAN, P.: *Das Gelbe Rechenbuch Band 1*. Verlag Martina Furlan, 1995. – ISBN 978-3931645007
- [9] GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONENFORSCHUNG MBH ; GSI UND VEREIN ZUR FÖRDERUNG DER TUMORTHERAPIE MIT SCHWEREN IONEN E.V. (Hrsg.): *Tumorthérapie mit schweren Ionen*. Broschüre, 2008. ISBN 978-3-9811298-4-7
- [10] HUANG, H.K. ; RATIB, O. ; BAKKER, A. R. ; WITTE, G.: *Picture Archiving and Communication Systems (PACS) in Medicine*. Springer, 1991 (NATO ASI Series 74)
- [11] KLUTE, R.: *Das World Wide Web: Web-Server und -Clients, HTML 2.0/3.0, HTTP*. Addison-Wesley, 1996. – ISBN 3-89319-763-X
- [12] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. <ftp://medical.nema.org/medical/dicom/2009/>. Version: 2009

- [13] NEUMANN, M.: Standardisierte Datenübertragung in der Strahlentherapie mit RT-DICOM. In: *AK Computer in der Radiologie* Deutsche Gesellschaft für medizinische Physik (DGMP), 1997
- [14] NIEMANN, K. D.: *Client / Server-Architektur - Organisation und Methodik der Anwendungsentwicklung*. Vieweg Verlagsgesellschaft, 1996. – ISBN 3-528-15466-7
- [15] NISCHWITZ, A. ; FISCHER, M. W. ; HABERÄCKER, P.: *Computergrafik und Bildverarbeitung*. Vieweg + Teubner : Galileo Computing, 2007. – ISBN 978-3834801869
- [16] OFFIS E. V.: *DCMTK - DICOM - Toolkit Beschreibung*. Website. <http://dicom.offis.de/dcmTk.php.de>. Version: 07 2010. – [Online; Stand 24. Juli 2010]
- [17] ONKEN, M.: DCMRT - Eine Open Source RT Bibliothek. In: *Jahrestreffen AK Computer in der Radioonkologie 2009* Deutsche Gesellschaft für medizinische Physik (DGMP), 2009
- [18] ORECCHIA, R.: *Union of light-ion centres in Europe (ULICE)*. Website. http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=1&CAT=PROJ&QUERY=01262cebfe07:573f:061b50f7&RCN=92176. Version: 04 2010. – [Online; Stand 07. Juli 2010]
- [19] OTTMANN, T. ; WIDMAYER, P.: *Algorithmen und Datenstrukturen*. Spektrum Akademischer Verlag, 2002. – ISBN 3-8274-1029-0
- [20] SCHLEGEL, W. ; BORTFELD, T. ; GROSU, A.L.: *New Technologies in Radiation Oncology*. 2006. ISBN 9783540003212
- [21] SCHMITT, H.-J.: *Client-Server Architekturen: Architekturmodelle für eine neue informationstechnische Infrastruktur*. Lang, 1993. – ISBN 3-631-47036-3
- [22] STREICHER, J.: *Entwicklung und Implementierung eines Systems zur benutzerkonfigurierbaren Reportgenerierung von Bestrahlungsplänen auf Basis von DICOM RT, XML und XSL*, Universität Heidelberg und Hochschule Heilbronn, Diplomarbeit, 2007
- [23] SUNDAY, D.: *Intersections of Lines, Segments and Planes (2D and 3D)*. Website. http://softsurfer.com/Archive/algorithm_0104/algorithm_0104B.htm. Version: 2006. – [Online; Stand 20. August 2010]
- [24] TANENBAUM, A. S. ; STEEN, M. van: *Verteilte Systeme - Prinzipien und Paradigmen*. Pearson Education Deutschland, 2007. – ISBN 3827372933
- [25] TUFFS, A.: *Patienten sollen von neuer Bestrahlungstherapie profitieren*. Website. <http://idw-online.de/pages/de/news335185>. Version: 09 2009. – [Online; Stand 08. Juli 2010]
- [26] ULLENBOOM, C.: *Java ist auch eine Insel*. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Bonn : Galileo Computing, 2007. – ISBN 3898428389

- [27] WORLD HEALTH ORGANIZATION: The World Health Report 2008 - Now More Than Ever / World Health Organization. World Health Organization, 2008. – Forschungsbericht. – ISBN 978-9241563734

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit

**Konzeption und Entwicklung von Modulen zur Verwaltung
und Visualisierung von DICOM-RT Objekten im CHILI-PACS-System**

vollkommen selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie Zitate kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Heilbronn, den 9. September 2010

Unterschrift